367ФЕДЕРАЛЬНОЕ 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 VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием)

Том 1

Чита
2022

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 VI Всероссийской
научно-практической конференции
(с международным участием)

(г. Чита, 18 ноября 2022 г.)

Том 1

Чита
2022

УДК 378
ББК Ч 48
О 23

Редакционная коллегия:

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

О 23 ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 18 ноября 2022 г. В 2-х томах. Том 1. – Чита : ЗабИЖТ ИрГУПС, 2022. – 368 с.

ISBN 978-5-6048127-5-4

В сборнике представлены статьи VI Всероссийской научно-практической конференции «ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО».

УДК 378
ББК Ч 48

ISBN 978-5-6048127-5-4

© Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС), 2022
© Забайкальский институт железнодорожного
транспорта (ЗабИЖТ), 2022
© Авторский коллектив, 2022

Уважаемые участники конференции !

В этом году Всероссийская научно-практическая конференция «Образование – Наука – Производство» проводится уже традиционно.

Целью мероприятия является обмен опытом по новейшим достижениям в области строительства, ремонта и эксплуатации железнодорожного пути, подвижного состава, системы обеспечения движения поездов, организации перевозок и управления движением поездов, экономики, управления и развития кадрового потенциала, охраны труда, экологической и промышленной безопасности. Особая роль в конференции отведена актуальным вопросам организации образовательной деятельности при реализации Федеральных государственных стандартов.

Проводимая конференция предполагает проведение научных семинаров, мастер-классов и круглых столов, на которых будут заслушаны доклады участников конференции.

Убеждён, что последние достижения научных коллективов и практический опыт ведущих специалистов, представленные на конференции, будут способствовать дальнейшему совершенствованию производственной и образовательной системы.

Надеемся, что участники мероприятия смогут установить новые контакты для будущих совместных проектов, представить свои концепции и обсудить возможности эффективного сотрудничества.

От имени организационного комитета выражаю благодарность лекторам докладов за желание делиться научными знаниями и опытом.

Искренне желаю всем участникам научно-практической конференции дальнейшей плодотворной работы, интересных научных результатов и выработки перспективных идей.

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

А.А. Ерёменко

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЭЛЕКТРОВОЗЫ, ТЕПЛОВОЗЫ И ВАГОНЫ)……..... 9
А.Г. Андриевский
Мобильное приложение для сотрудников локомотиворемонтного предприятия..... 9
Т.В. Волчек, Р.В. Волчек
Методы определения температуры нагрева обмоток тяговых электродвигателей электровозов..... 15
А.С. Гниденко, Т.Н. Луговая
Железнодорожный подвижной состав..... 19
Т.В. Иванова, В.А. Рудаков, Д.Г. Налабордин
Оценка взаимодействия в системе «колесо – рельс» в условиях пониженного коэффициента сцепления..... 25
Е.Ю. Кривова, Е.А. Рожкова
Автоматизированная линия ремонта боковой рамы тележки 35
Е.А. Ларченко, Д.А. Яковлев, А.А. Еременко, Д.В. Фомин
Техническая оценка внедрения цифровых технологий в ремонтно-эксплуатационный комплекс ОАО «РЖД»..... 41
А.Л. Мартусов
Оценка адекватности электромагнитных процессов, наблюдаемых в процессе работы испытательной станции ТЭД подвижного состава..... 46
В.В. Степанов, А.Л. Кожевников
Повышение безопасности движения путём совершенствования системы автотормозов грузового поезда..... 54
И.А. Худоногов
Анализ надёжности и причины отказов тяговых электродвигателей электропоездов переменного тока на ВСЖД..... 57
И.А. Худоногов, С.В. Павлова
Определение вязкости и электрической прочности лаков и компаундов для капсулирования лобовых частей обмоток электродвигателей..... 63
Д.А. Чернигов, Е.А. Рожкова
Внедрение автоматической системы диагностики тормозов подвижного состава (АСДТ 5К) на ПТО Забайкальск..... 70

РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ 77

Е.В. Андреева, Н.С. Логинов
Причина образования наледи на искусственном сооружении станция Хушенга 5971КМ ПК 7–6 77

В.В. Атапин, А.С. Нечушкин, И.Г. Табаков
Анализ деградации рельсовой колеи 82

И.В. Благоразумов, А.К. Кемкина, Г.В. Ермолаева, Е.В. Непомнящих
Проектные решения по усилению мощности Забайкальской железной дороги на примере перегонов Ковали–Гудачи и Карымская–Оловянная 88

К.В. Волошина
Технические решения по системе ведения путевого хозяйства на основе ресурсосберегающих технологий 99

С.Б. Иевская
Применение современных материалов в мостостроении 102

Е.А. Козачук
Отдельные направления развития Восточного полигона с точки зрения проблем и перспектив модернизации Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей 107

В.А. Подвербный, О.А. Гнездилова, П.Н. Холодов
Разработка программы расчета ливневого стока по инструкции ВСН 63-76 115

В.А. Подвербный, О.А. Гнездилова, П.Н. Холодов
Расчет водобойного колодца по методике академика Е.А. Замарина 123

М.В. Феоктистова, С.С. Полищук, К.М. Титов
Восстановление, строительство берегоукрепительных сооружений Кругобайкальской железной дороги 136

Д.В. Черезова, Н.С. Логинов
Усиление и продолжение срока службы мостового полотна методом укладки плит БМП и композиционных материалов с расчётом несущей способности 146

А.И. Шестопалова, Н.С. Логинов
Преимущества использования многосуточных окон при производстве капитального ремонта пути первого уровня 150

РАЗДЕЛ 3. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ..... 153
М.В. Востриков, Е.А. Морозов, В.В. Фареныk
Роль устройств фильтрации и компенсации
в процессе оптимизации параметров режимов работы СТЭ
участка при организации тяжеловесного движения поездов..... 153
А.З. Даутова, В.А. Надёжкин
Анализ типов изолирующих стыков..... 161
А.В. Крюков, Е.В. Воронина, И.А. Фесак
Учёт продольной и поперечной несимметрии при моделировании
электромагнитных полей, создаваемых компактными линиями
электропередачи..... 166
Д.И. Кузубов, Е.Ю. Пузина
Обоснование необходимости переноса нейтральной вставки
станции Огневка..... 175
К.В. Менакер, Т.В. Ежиков, П.Е. Неугодников
Анализ использования индуктивно-петлевого датчика
для фиксации автотранспортных средств на железнодорожных
переездах..... 181
В.Л. Незевак, С.С. Самолинов
Актуальные вопросы исследований работы систем накопления
электроэнергии в электроэнергетике..... 188
В.Л. Незевак, Ю.В. Кондратьев, М.М. Никифоров
Исследование внешней характеристики статических
компенсаторов реактивной мощности в тяговой сети
переменного тока..... 200
Е.Ю. Пузина
Эффективность строительства подпитывающей тяговой
подстанции..... 208
А.В. Пультяков, Р.В. Лихота, В.А. Алексеенко
Техническая диагностика и мониторинг состояния устройств
железнодорожной автоматики и телемеханики
на Восточном полигоне..... 215
О.А. Соловьёва, А.В. Рогалёв, В.И. Окладникова
Моделирование релейной защиты
в программном комплексе MatLab – Simulink..... 224
С.А. Филиппов, О.А. Соловьёва, Н.С. Выбойченко
Анализ статистики срабатывания релейной защиты фидеров
контактной сети на примере ЭЧ-1..... 230

М.С. Якубов, М.А. Каримов
Математическая модель и структурная схема экстремального квазиуравновешиваемого преобразователя электромеханических величин для диагностики установок тягового электроснабжения... 235
М.С. Якубов, И.А. Каримов
Совершенствование методов предварительной обработки информации для диагностики объектов тягового электроснабжения..... 241
М.С. Якубов, К.Х. Турдибеков, А.Х. Суллиев
Совершенствование информационно-измерительного комплекса диагностирования объектов тягового электроснабжения..... 251
РАЗДЕЛ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ. ГРУЗОВАЯ И КОММЕРЧЕСКАЯ РАБОТА…….. 262
Н.В. Власова, В.А. Оленцевич
Совершенствование процессов транспортно-логистического бизнес-блока по реализации проекта предоставления комплекса услуг..... 262
Г.Д. Гефан
Вероятностно-статистические методы в организации железнодорожных перевозок..... 270
А.Д. Доможирова, Р.Ю. Упырь
К вопросу прогнозирования величины грузопотока на участке курсирования кольцевых маршрутных поездов..... 276
А.А. Ивасенко
Опыт организации клиентоориентированного подхода в грузовых перевозках..... 281
Е.В. Каимов, В.А. Оленцевич, Н.В. Власова
Проблемы формирования, развития и реконструкции элементов инфраструктурного комплекса железных дорог..... 288
М.И. Коновалова, С.В. Дружин, Е.В. Мартемьянова
Улучшение технологических процессов работы станций за счет устранения потерь..... 296
М.С. Петров, Е.В. Маловецкая
Теоретические аспекты развития тяжеловесного движения 304
С.Д. Подолинная, Р.Г. Король
К вопросу развития логистики в периоды экономической нестабильности..... 311

О.А. Посыльная
Факторы, влияющие на успех в организации перевозок и управления движением поездов, грузовую и коммерческую работу..... 318
П.Е. Раевская, Н.В. Раевский, А.И. Папушева
Малодеятельные линии в «РЖД»: что с ними делать?..... 323
Е.Н. Светлакова, Е.В. Мартемьянова, Х.С. Шулаева
Анализ рабочего времени локомотивных бригад ст. Чита 1 Забайкальской железной дороги..... 329
Е.Н. Светлакова, Х.С. Шулаева
Внедрение системы автоматизированного вызова локомотивных бригад на Забайкальской железной дороге как элемент АСУ СТ.... 336
Н.Ф. Сирина, В.В. Зубков, П.Е. Раевская
Анализ влияния бизнес-блока ОАО «РЖД» на результат перевозочной работы участка железной дороги..... 345
В.Е. Стольникова, Е.В. Маловецкая
Увеличение пропускных и провозных способностей инфраструктуры за счет реконструкционных мероприятий объектов необщего пользования..... 351
А.К. Таюрская, Ю.И. Белоголов
Новые правила технической эксплуатации – новые правила развития инфраструктуры и диспетчеризации..... 358
Е.Е. Черткова, А.Е. Чумакина, Т.Н. Черняева
Расчёт экономических показателей работы дорог..... 362

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

А.Г. Андриевский
Красноярский институт железнодорожного транспорта,
г. Красноярск, Россия

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ СОТРУДНИКОВ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Востребованность и успех глобальных мобильных приложений неоспорим. В настоящее время наблюдается тренд развития отраслевых мобильных приложений, так как существует соответствующий запрос учета особенностей и специфики отраслевых социальных групп. Информационные технологии позволяют оптимизировать и во многих случаях автоматизировать информационные процессы, которые в последние годы занимают все большее место в жизнедеятельности отраслевых социумов. Таким образом, разработка отраслевого обособленного мобильного приложения с функционалом соответствующим запросам обособленной социальной группы представляющей собой сотрудников предприятия представляется актуальной.

Ключевые слова: мобильное приложение, отраслевое приложение, информатизация, информационные технологии депо.

Сложившаяся практика информационно-технического обеспечения сервисного локомотивного депо предполагает наличие стационарных автоматизированных рабочих мест (АРМ) [1, 2]. Однако такой подход, лишает к доступу к информационной среде предприятия мобильных сотрудников и сотрудников, не имеющих АРМ на своем рабочем месте. В настоящее время информационная среда сервисных локомотивных депо [3, 4] базируется на технических решениях платформы «1С: Предприятие», что позволяет строить управление сервисным депо получая необходимые информационно-аналитические данные рис. 1.

Однако такая информационно-аналитическая среда имеет ряд недостатков:

– доступ к информационной среде предприятия имеется только со стационарных АРМ или индустриальных рабочих станций (ИРС);

– трудность получения оперативной информации для полноценного использования возможностей пооперационного принципа управления технологическими процессами ремонта;

– слабый контроль и учет выполнения производственных нарядов и затраченного времени на выполнение технологической операции;

– избыточные и неэффективные затраты времени на постановку производственных заданий сотрудникам на утренней планерке в устной форме, что может приводить к недопониманию сотрудником целей и объема производственных задач;

– отсутствие возможности самоконтроля сотрудником графика выполнения сменного производственного задания;

– отсутствие информационных сервисов для взаимодействия сотрудника с администрацией предприятия;

– наличие потерь рабочего времени на перемещение сотрудников по территории предприятия;

– отсутствие современных цифровых сервисов для получения сотрудниками информации о новостях предприятия;

– отсутствие возможности оперативного обмена производственным опытом.

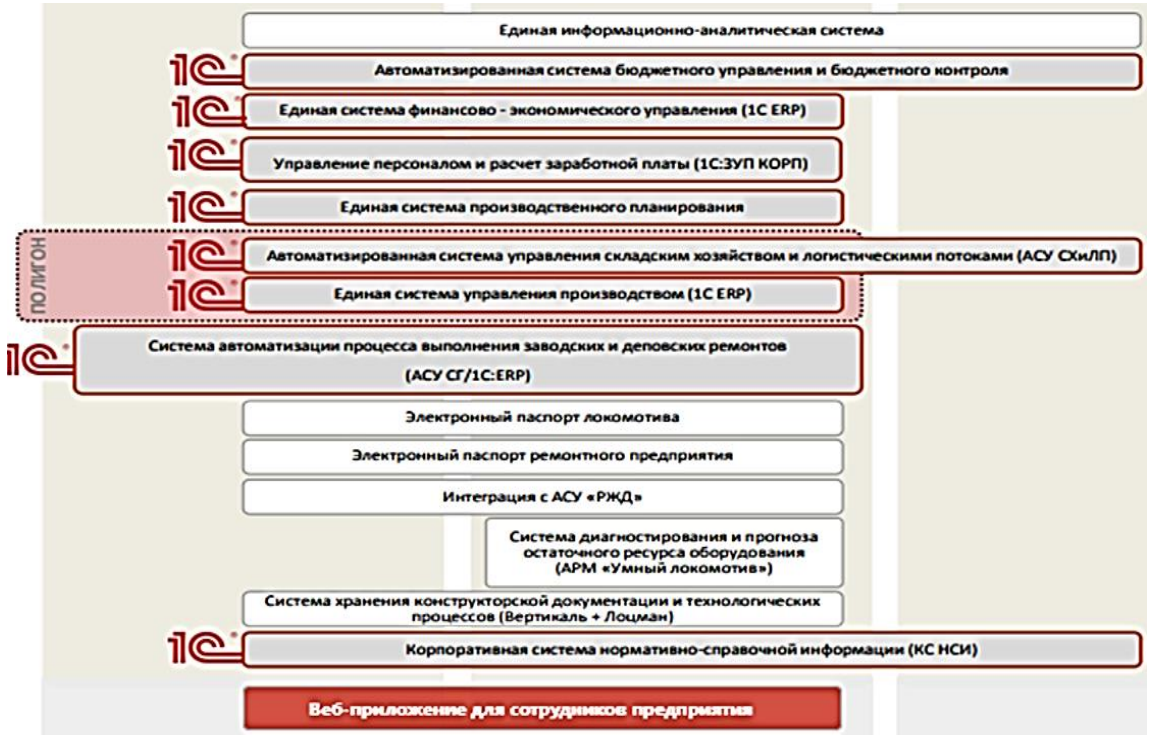


Рис. 1. Информационная модель управления предприятием

С учетом обозначенных недостатков существующей информационной среды предприятия, становится целесообразно использовать мо-

бильное приложение, например мобильное веб-приложение с функциональными возможностями, приведенными на рис. 2.

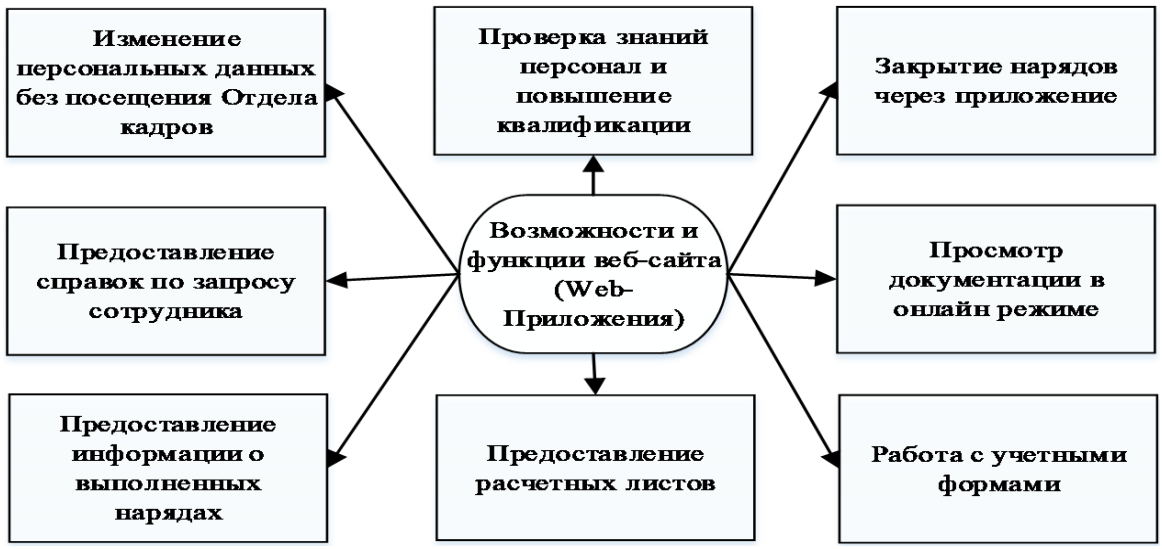


Рис. 2. Функциональные возможности предлагаемого мобильного приложения

Предлагаемое веб-приложение должно иметь клиент-серверную структуру, в которой пользователь взаимодействует с сервером при помощи специальной программы на стационарных или мобильных устройствах. Логика веб-приложения распределена между сервером и пользователем. Хранение данных осуществляется, преимущественно, на сервере, обмен информации происходит по сети интернет.

Веб-приложение для сотрудников сервисных локомотивных депо призвано создать дружелюбную, понятную и удобную в использовании информационную среду. Продукт в первую очередь создается для исполнителей работ, в состав которых входят слесари, электромеханики и другой обслуживающий персонал.

Веб-приложение должно быть наделено многими функциями и возможностями, которые способны облегчить рабочий процесс, а также автоматизировать взаимодействие работника и предприятия в плане обучения и социальных вопросов. Функции веб-приложения должны быть доступны сотрудникам сервисного локомотивного депо в любой момент времени и с любого имеющегося устройства. Важным фактором является подключение с всемирной сети интернет. На рис. 3 приведен фрагмент структуры предлагаемого мобильного веб-приложения.

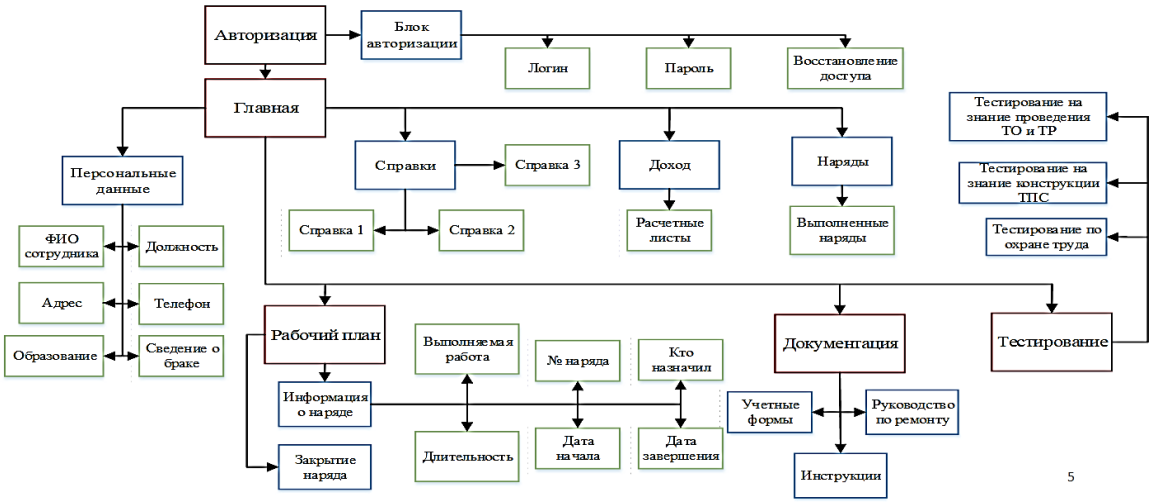


Рис. 3. Функциональные возможности предлагаемого мобильного веб-приложения

В блоке «Главная» расположились такие функции как: «Справки», «Доход», «Наряды», «Изменить данные».

Функция «Справки» дает возможность пользователю заказать больше количество видов документов, включая справку с места работы, 2-НДФЛ. При готовности документа, систему уведомит сотрудника, где и как можно его забрать. Некоторые из справок загружаются непосредственно в личный кабинет работника и доступны для скачивания и распечатки.

Функция «Доход» дает возможность получить расчётные листки по запросу, узнать общую информацию по заработной плате сотрудника.

Функция «Наряды» предоставляет возможность посмотреть выполненные наряды работника в онлайн режиме без специального запроса.

Функция «Изменить данные» позволяет изменять ФИО сотрудника, должность, разряд, контактные данные, адрес проживания, сведения об образовании и браке на основании официальных документов. Веб-приложение предполагает привязку к базе данных депо, поэтому при изменении каких-либо данных работником информация автоматически будет обновляться в базе данных. Таким образом, сотруднику нет необходимости лично посещать отдел кадров при изменении каких-либо сведений.

Функциональные возможности основных разделов разделены по блокам.

Блок «Рабочий план» позволяет сотруднику (слесарю) сервисного локомотивного депо в режиме реального времени отслеживать рабочий план, а также закрывать наряды через приложение.

Блок «Документация» является одним из важнейших элементом веб-приложения и предоставляет сотруднику возможность получать документацию в электронном виде. Важнейшей функцией в данном блоке является работа с учетными формами.

Блок «Тестирование» позволяет в онлайн режиме проводить проверку знаний работников предприятия, на данный момент доступны такие вида тестирования как: Тестирование по конструкции и ремонту тягового подвижного состава; тестирование на знание охраны труда при проведении технического обслуживания и ремонта.

Блок «Тестирование» имеет такие вкладки подразделов как тестирование по охране труда, тестирование на знание конструкции, тестирование на знание процессов ТО и ТР. Кнопки также представлены формой темно-серого цвета с синей тенью. Интерфейс блоков «Документация» и «Тестирование» представлен на рис. 4.

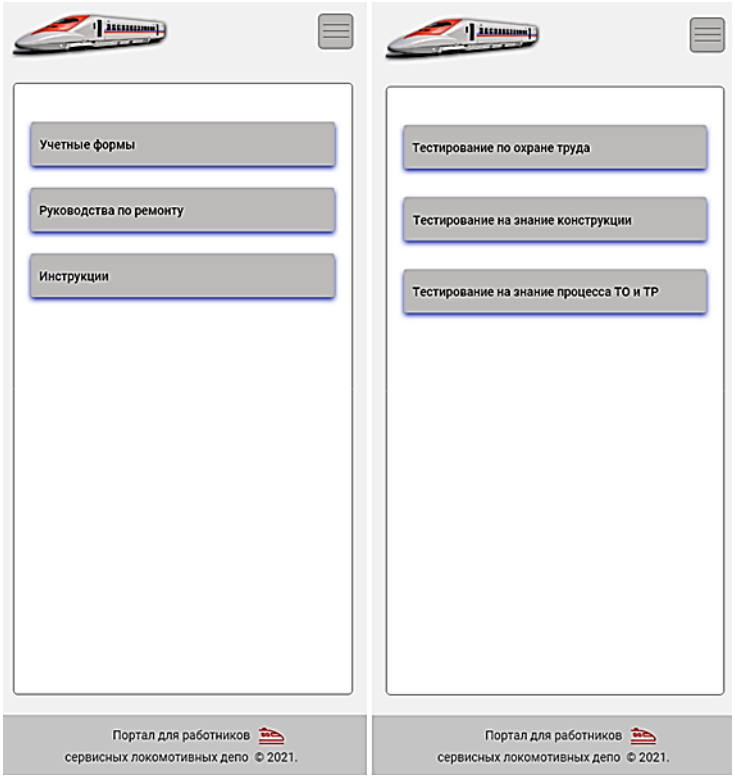


Рис. 4. Интерфейс блоков «Документация» и «Тестирование»

Таким образом, расширение информационной среды локомотиворемонтного предприятия путем внедрение мобильного веб-приложения для сотрудников позволит получить ряд преимуществ, например, таких как:

– приложение интегрирует рабочую информационную среду предприятия с некоторым функционалом социальной сети, что позволит повысить эффективность сотрудников путем большей вовлеченности в производственный процесс;

– внедрение эффективного пооперационного управления технологическими процессами ремонта;

– повысить лояльность сотрудников предприятию и квалификацию персонала;

– сократить издержки времени на перемещение сотрудников по депо.

Библиографический список

1. Пустовой, И. В. Повышение эффективности системы сервисного обслуживания локомотивов за счёт внедрения информационных технологий / И. В. Пустовой. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 6(60). – С. 36–40.

2. Пустовой, И. В. Ключевые показатели эффективности информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов / И. В. Пустовой. – Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 2(38). – С. 77–84.

3. Черемисин, В. Т. Роль информационных технологий в обеспечении надежности локомотивов / В. Т. Черемисин, И. В. Пустовой. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2017. – № 9(728). – С. 2–4.

4. Лакин, И. К. Эффективность сервисного обслуживания локомотивов / И. К. Лакин, И. В. Пустовой. – Текст : непосредственный // Вестник Института проблем естественных монополий : Техника железных дорог. – 2017. – № 2(38). – С. 34–44.

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. – Т. 2. – С. 267–273.

Т.В. Волчек
Красноярский институт железнодорожного транспорта,
г. Красноярск, Россия

Р.В. Волчек
Институт нефти и газа,
г. Красноярск, Россия

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ОБМОТОК ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

В настоящее время электровозы переменного тока серии «Ермак» с поосным регулированием напряжения на тяговых электродвигателях и независимым возбуждением столкнулись с проблемой перегрева обмоток тяговых электродвигателей на участках с тяжелым профилем, что приводит к простою поездов. В статье рассмотрены методы расчета температуры обмоток тяговых электродвигателей, представлен алгоритм определения перегрева якорной обмотки ТЭД на борту локомотива, выявлены его недостатки. Для повышения точности измерения температуры нагрева обмоток тяговых электродвигателей предлагается установить температурный датчик на его остов.

Ключевые слова: электровоз переменного тока, тяговый электрический двигатель, алгоритм работы, нагрев обмоток.

Одной из актуальных задач ОАО «РЖД» является развитие тяжеловесного движения, что позволит увеличить провозную способность железных дорог. На сегодняшний день самым современным и мощным электровозом переменного тока для грузового движения является электровоз серии «Ермак» с поосным регулированием (ПоР) напряжения на тяговых электродвигателях (ТЭД) и независимым возбуждением, который способен работать на участках со сложным рельефом, повышенной весовой нормой [1-2].

В настоящее время на Восточно-Сибирской железной дороге курсируют грузовые поезда весом 7100 т [1]. Одной из сложностей вождения поездов данной массы является перегрев ТЭД на сложном профиле пути, что приводит к простою поездов. В связи с этим, в 2019 году на участке Тайшет – Иркутск были проведены испытания поезда весом 7100 т, которые показали, что температура нагрева сглаживающего реактора, рассчитываемая по МСУД-015, не совпадает с показаниями, полученными прямыми замерами термопарой, в связи с этим предельная

температура в МСУД-015 по нагреву ТЭД была повышена до 155 °С [3]. Несмотря на это, локомотивные бригады все же сталкиваются с ложным срабатыванием МСУД-015, что приводит к простою подвижного состава, а, следовательно, к уменьшению пропускной способности железных дорог.

На рис. 1 представлен файл расшифровки кассеты МСУД-015 на участке Камышет-Ук, на котором представлены кривые скорости первой колесной пары, тока якоря, напряжения первого ТЭД, расчетная температура якоря, главных и дополнительных полюсов с компенсационной обмоткой, сглаживающего реактора. Как видим по рис. 1, температура в МСУД определяется расчетным путем.

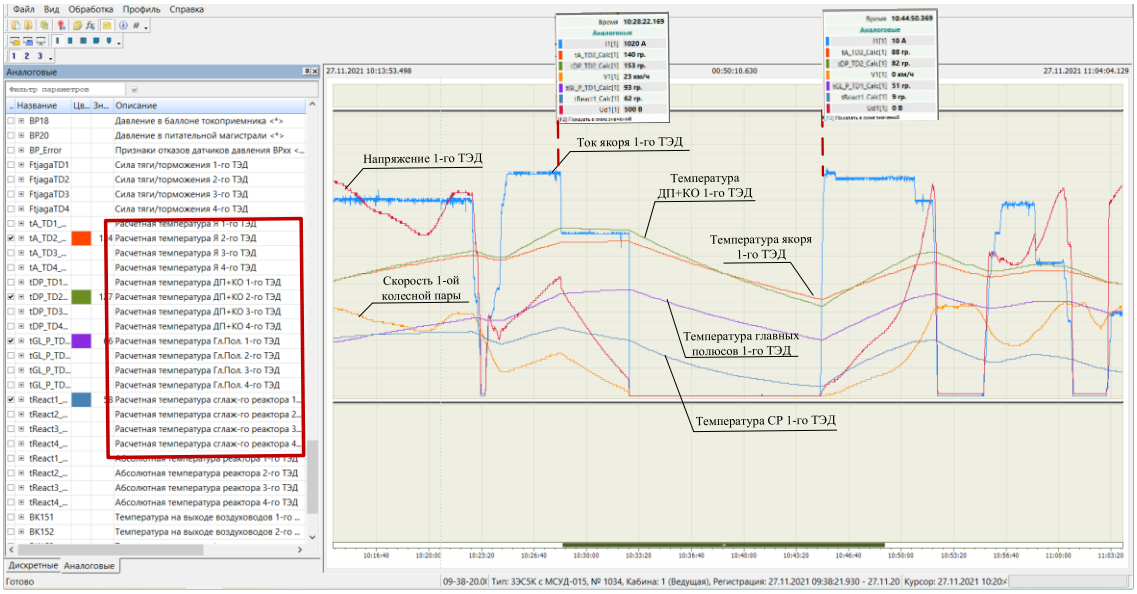


Рис. 1. Расшифровка кассеты МСУД-015 электровоза переменного тока серии 3ЭС5К с ПоР на участке Камышет-Ук

Известно несколько методов расчета температуры нагрева обмоток ТЭД электровоза:

– аналитический метод изменения тока относительно времени I = I(t);

– метод определения температуры по сетке температурных кривых (графики, показывающие зависимость температуры от времени при определенных значениях тока). С помощью данного метода измерить температуру нагрева обмоток ТЭД можно в любой момент времени в зависимости от тока нагрузки, количества охлаждающего воздуха, благодаря использованию сетки кривых нагревания и охлаждения всех обмоток ТЭД, которые были получены экспериментальным путем;

– метод среднего квадратичного тока. Данный метод основывается на предположении, что обмотки ТЭД нагреваются только за счет электрических потерь, зависящих от квадрата тока [4].

Наиболее эффективным методом определения температуры нагрева обмоток ТЭД является аналитический метод изменения тока относительно времени. В настоящее время наличие микропроцессорной техники на локомотивах позволяет осуществлять непрерывный контроль температуры обмоток ТЭД в пути следования, используя расчетный способ. Температура обмотки ТЭД находится по известной формуле (1):

$$\tau = \tau_\infty \left(1 - exp\left(-\frac{dt}{T}\right)\right) + \tau_0 exp\left(-\frac{dt}{T}\right), \qquad (1)$$

где τ_∞ – установившиеся превышение температуры обмотки ТЭД над температурой окружающей среды при данном режиме работы;

τ_0 – начальное превышение температуры обмотки;

t – время между замерами;

Т – постоянная времени нагрева, равная отношению теплоемкости ТЭД к его теплоотдаче.

Наибольшее значение превышения температуры, полученное при расчете, приводится к расчетной температуре наружного воздуха с учетом устройств снегозащиты по формуле (2):

$$\tau_р = \tau к_{сз} \cdot к_{нв}, \qquad (2)$$

где $к_{сз}$ – коэффициент, учитывающий снегозащиту;

$к_{нв}$ – коэффициент приведения превышения температуры обмоток ТЭД к температуре окружающего воздуха.

Таким образом, на рис. 2 представлен алгоритм определения температуры нагрева обмоток ТЭД на борту локомотива [5].

В свою очередь, расчетный метод определения температуры нагрева обмоток ТЭД может иметь значительные погрешности, которые вызывают ложное срабатывание МСУД-015, что приводит к отключению ТЭД для их остывания. Расчетный метод определения температуры не учитывает такие факторы, как: изменение мощности и тока ТЭД, вызывающих различную интенсивность нагревания деталей; взаимное влияние нагрева одних частей двигателя на другие; условия вентиляции и т. д.

Решить данную проблему возможно с помощью определения температуры нагрева обмоток ТЭД с помощью установленного на остов ТЭД температурного датчика. В настоящее время существует множество видов измерителей тепла. Рассмотрим основные их виды: термопреобра-

зователь сопротивления (термистор); термопара или термоэлектрический преобразователь; кварцевый термопреобразователь; шумовой термометр; дилатометрический преобразователь; акустический анализатор; пирометр.

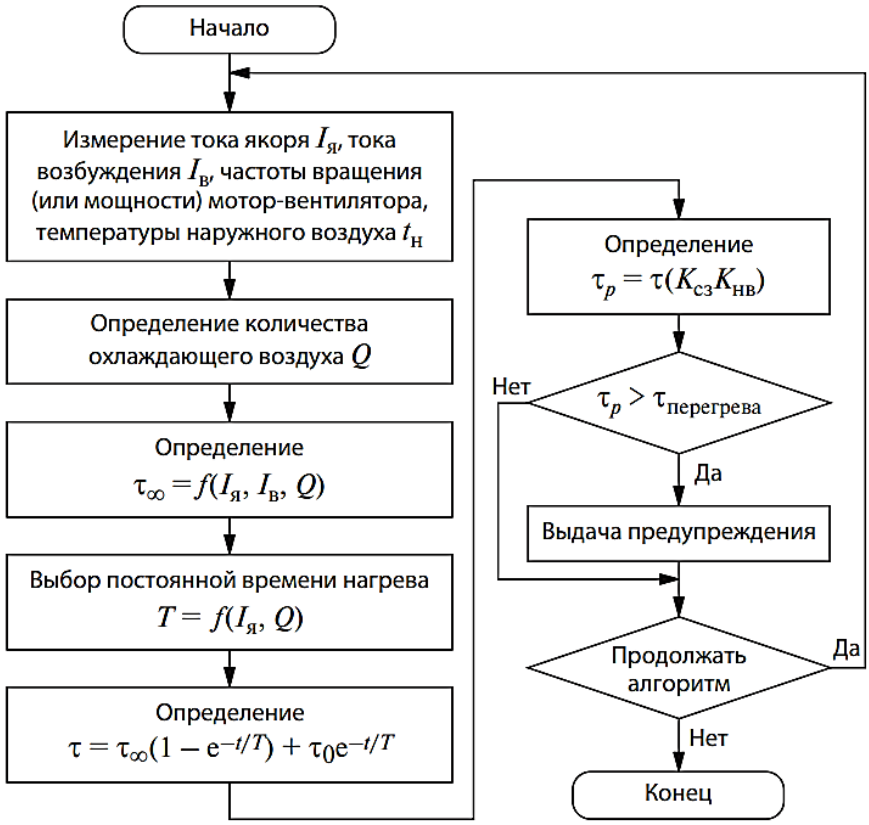


Рис. 2. Алгоритм определения температуры нагрева обмотки ТЭД на борту локомотива

Изучив достоинства и недостатки каждого температурного датчика установлено, что наиболее подходящим для измерения температуры нагрева обмоток ТЭД является пирометр, так как он предназначен для применения в промышленных областях (энергетика, металлургия, машиностроение и так далее) при работе в жестких условиях. Именно пирометр отслеживает и контролирует температуру там, где другие термодатчики бесполезны. Основные преимущества выбранного термодатчика заключаются в следующем: способность выполнять работу при высокотемпературных процессах, при движущихся элементах системы, при наличии других измерительных датчиков; может работать под высоким напряжением, в труднодоступных местах, а также агрессивных средах.

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволит более точно определять температуру нагрева обмоток ТЭД, что позволит снизить простои электровозов по вине перегрева.

Библиографический список

1. Кобзев, С. Поездам придали вес / Сергей Кобзев. – Текст : непосредственный // Гудок. – 2017. – № 191 (26330).

2. Семье «Ермаков» исполнилось 15 лет // Локомотив. – 2019. – № 9. – С. 25. – Текст : непосредственный.

3. Слепцов, М. А. Оптимизация алгоритмов системы управления электровозов 3ЭС5К с поосным регулированием силы тяги / М. А. Слепцов, И. П. Васильев, С. А. Старовойтов, И. Ю. Мартынюк. – Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2020. – Вып. 3. – С. 366–377.

4. Розенфельд, В. Е. Теория электрической тяги : учебник для вузов железнодорожного транспорта / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Москва : Транспорт, 1993. – 328 с. – Текст : непосредственный.

5. Худорожко, М. В. Непрерывный контроль температуры якорных обмоток тяговых электродвигателей локомотива / М. В. Худорожко. – Текст : непосредственный // Вестник ВНИИЖТ, 2009. – № 1. – С. 27–29.

А.С. Гниденко, Т.Н. Луговая
Иркутский государственный университет путей сообщения – Сибирский колледж транспорта и строительства, г. Иркутск, Россия

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

В статье рассматриваются общие требования к подвижному составу. Раскрывается понятие подвижного состава как рельсового транспортного средства, предназначенного для обеспечения перевозок железнодорожного груза и пассажирских перевозок и функционирования железнодорожной инфраструктуры. Представлены определения разновидностей подвижного состава (локомотивы, грузовые вагоны, пассажирские вагоны локомотивной тяги), также раскрывается определение специального подвижного состава. Подвижной состав, в том числе вагоны, строится по определенным габаритам. Поэтому в данной

статье широко раскрывается вопрос «габарита», так как соблюдение габаритов на железной дороге является одним из важнейших условий обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте. Формулируется вывод о том, что подвижной состав необходим в деятельности человечества, а так же мы выясняем, что рельсовые транспортные средства делятся на тяговые и не тяговые составы.

Ключевые слова: подвижной состав железной дороги, железнодорожное транспортное средство, железнодорожная промышленность, специальный самоход, локомотив, электровозы, тепловозы, дизель-поезда, вагоны пассажирские и грузовые, специальный подвижной состав, габарит, тяговый состав, буксируемые и не буксируемые составы.

Железные дороги занимают лидирующее положение среди всех видов транспорта (автомобильный, воздушный, речной, трубопроводный и т.д.).

С детства меня очень интересовала железнодорожная промышленость. Так как железная дорога – это очень интересное место. Да, оно опасное, но данная дорога является способом соединения всех дорог мира. Итак, я хотела бы поговорить о выборе направления развития железных дорог и уделить большое внимание подвижному составу.

Российский подвижной состав имеет широкий сектор в железнодорожной промышленности с большими мощностями по производству всех видов подвижного состава, включая тепловозы, поезда, электровозы, дизель-поезда, автопоезда и самоходную технику, такую как дредноуты [1].

Рис. 1. Подвижной состав, электровоз

Разобравшись с тем, что такое рельсовые транспортные средства и для чего они нужны, в данном разделе описываются общие требования к рельсовым транспортным средствам. Общие требования необходимы для обеспечения бесперебойной работы железнодорожного транспорта и безопасности перевозок. Железнодорожный подвижной состав должен соответствовать ряду требований, перечисленных в «Федеральных правилах технической эксплуатации железных дорог (Приложение №5, стр. 134)».

Железнодорожные транспортные средства должны своевременно проходить профилактический ремонт и техническое обслуживание и содержаться в хорошем рабочем состоянии для обеспечения безопасности движения требований по охране труда и пожарной безопасности.

Все компоненты вагона, включая прочность, устойчивость и технические требования, должны обеспечивать безопасное и бесперебойное движение поезда. Вновь построенные вагоны должны безопасно и плавно двигаться на расчетных скоростях с современными локомотивами и мотор-вагонными поездами, предназначенными для соответствующей категории.

Рельсовые транспортные средства должны соответствовать габаритным требованиям стандартов и правил. Контейнеры также должны отвечать соответствующим требованиям стандартов и правил.

Каждое железнодорожное транспортное средство должно иметь следующие отличительные и четкие маркировки и таблички технического знака Российский железных дорог (имя владельца подвижного состава; идентификационный номер и идентификационная табличка завода – изготовителя, дата и место строительства; идентификационные номера и знаки приемки деталей в местах, указанных в стандартах и правилах; дата и место производства идентифицированного ремонта).

На каждый локомотив, вагон, многосекционный вагон или единицу МВПС или ССПС должен храниться технический паспорт (формуляр) с описанием важнейших технических и эксплуатационных характеристик.

Железнодорожные транспортные средства должны быть оборудованы устройством, которое автоматически передает идентификационный номер железнодорожного транспортного средства в автоматическую систему САИПС («Пальма»).

Как уже упоминалось выше, габариты в железнодорожном транспорте занимает очень важное место в железнодорожной отрасли. Соблюдение ширины железнодорожной колеи является одним из важнейших условий обеспечения безопасности движения поездов. Локомотивы

и вагоны должны иметь возможность свободно проходить по путям и через различные путевые сооружения, платформы станций и здания, сталкиваясь с транспортными средствами, находящимися на соседних путях или различных искусственных сооружениях. Это требование обеспечивается соблюдение габаритов приближения строений и подвижного состава, указанных в национальных стандартах.

Габариты приближения (рис. 2) – это максимальные внешние размеры в поперечном направлении (перпендикулярно оси пути), в пределах которых не могут находиться никакие сооружения или части оборудования, кроме железнодорожного транспорта. Исключения, однако, делаются для оборудования, предназначенного для непосредственного взаимодействия с железнодорожным транспортным средством (например, вагоны замедлители в рабочем состоянии, контактные линии с крепежными деталями и т.д.).

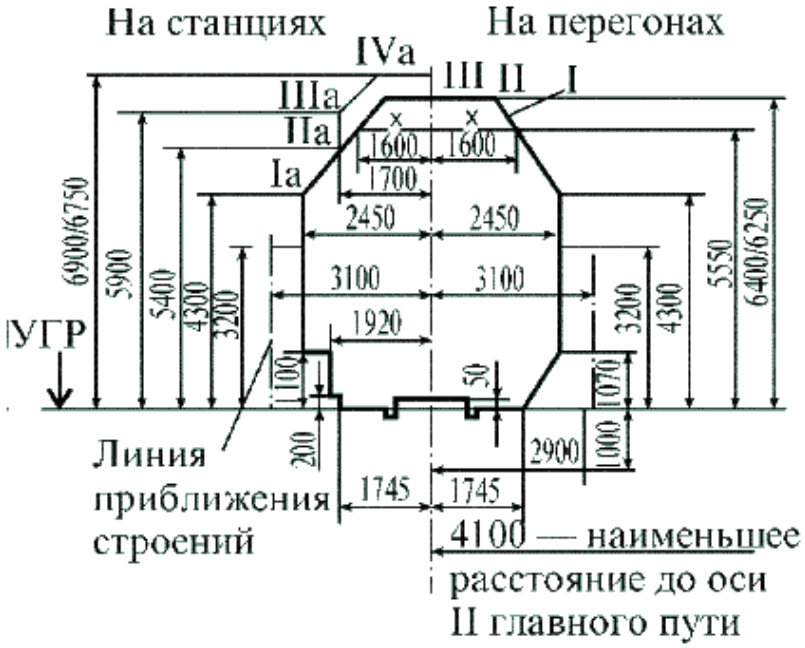


Рис. 2. Габарит приближения строений С: УГР – уровень верха головки рельса; х – для сооружений и устройств на путях, где электрификация исключена

Габаритный размер длины рельсового транспортного средства (рис. 3) – это максимальный внешний размер в поперечном направлении (перпендикулярно оси пути), при котором груженые и порожние вагоны, установленные на горизонтальном прямом пути, могут быть размещены без нависания снаружи.

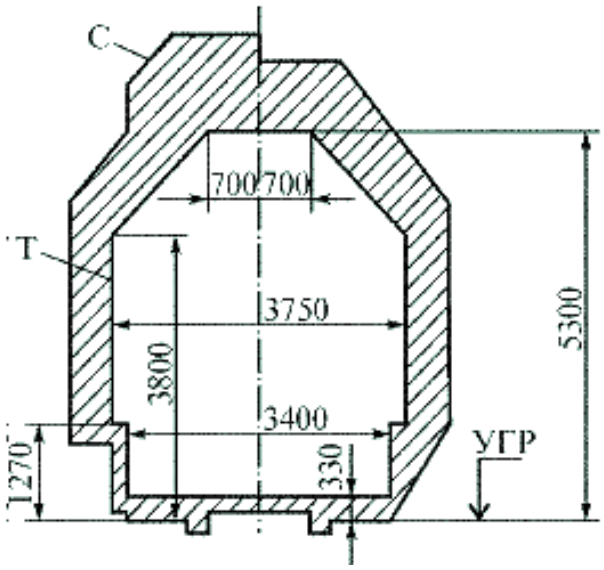


Рис. 3. Совмещенные габариты приближения и подвижного состава

Габариты железнодорожного транспорта делятся на строительные и эксплуатационные. О габаритах можно говорить много, это очень интересная тема и очень важная, но давайте уделим большее внимание самому подвижному составу.

Существует множество различных видов железнодорожного транспорта, включая электровозы, тепловозы и вагоны. Давайте немного поговорим о каждом из них. Электровозы – это неавтономные локомотивы, получающие внешнее питание от подстанции по воздушным линиям и приводимые в движение бортовым тяговым двигателем) в некоторых случаях от бортового аккумулятора). Тепловозы – это автономные локомотивы с двигателем внутреннего сгорания. В большинстве случаев дизельный двигатель предназначен для приведения в движение энергетических локомотивов – железнодорожных тяговых средств, поездов на путях или отдельных вагонов – посредством передачи энергии (электрической, гидравлической, механической).

Существуют различные типы локомотивов – паровые, дизельные и электровозы и их также можно разделить по типу работы – пассажирские, грузовые или маневровые. Паровозы – это отдельная тема, но мы хотели бы поговорить об этом, безусловно, легендарном ретро – локомотиве, который внес огромный вклад в развитие железных дорог. По сути, локомотив приводится в движение паром, который двигает поршни в цилиндрах и вращает колеса через кривошипно-шатунный механизм, и это все проясняет.

Подводя итог данной статьи, можно сказать, что железнодорожные транспортные средства можно разделить на буксируемые и небуксируемые.

Тяговые рельсовые транспортные средства (ТПС) – это устоявшееся название механических средств (локомотивов), используемых для перемещения несамоходных транспортных средств (грузовых вагонов, вагонов и специальной техники) по сети железных дорог. Современные железнодорожные транспортные средства представлены электрическими, дизельными и газотурбинными локомотива, моторными вагонами и, исторически, паровозами.

Электрифицированные линии имеют более высокую пропускную способность по сравнению с не электрифицированными линиями. Электровозы имеют более длительный срок службы, их легче ремонтировать и они более экологичны, чем тепловозы. У электровозов эксплуатационные расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт ниже, чем у тепловозов.

Однако внедрение электрической тяги требует значительных капиталовложений, включая линии электропередач, тяговые подстанции и воздушные линии. Однако на железных дорогах с интенсивным движением затраты быстро окупаются. По этой причине электрическая тяга широко используется на российских железных дорогая для пассажирских перевозок на высоконапряженных линиях со сложной геометрией и в пригородных зонах.

Библиографический список

1. Быков, Б. В. Конструкция тележек грузовых и пассажирских вагонов : иллюстрированное учебное пособие. – Москва : Маршрут, 2004. – 36 с. – Текст : непосредственный.

2. Технология вагоностроения и ремонта вагонов : учебник для вузов / В. С. Герасимов, И. Ф. Скиба, Б. М. Кернич [и др.] ; под редакцией В. С. Герасимова. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Москва : Транспорт, 1988. – 381 с. – Текст : непосредственный.

3. Техническая информация «Регионального центра инновационных технологий». Технические средства железных дорог : учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. Раздел 1. – URL : http://www.rcit.su/techinfo93.html. – Текст : электронный.

4. Железнодорожный подвижной состав: понятие, назначение, классификация пассажирских поездов и вагонов, нумерация поездов и вагонов. – URL : https://bstudy.net/987902/tehnika/zheleznodorozhnyy_

podvizhnoy_sostav_ponyatie_naznachenie_klassifikatsiya_passazhirskih_poezdov_vagonov_numer. – Текст : электронный.

5. Ларченко, Е. А. Расчет стоимости жизненного цикла на отдельные узлы подвижного состава железнодорожного транспорта / Е. А. Ларченко. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Т. 2. – С. 374–378.

6. Ларченко, Е. А. Расчетное экономическое обоснование корректировки оптимального срока службы подвижного состава с учетом 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
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

Д.Г. Налабордин
Отдел безопасности движения и сохранности вагонного парка службы вагонного хозяйства Забайкальской дирекции инфраструктуры,
г. Чита, Россия

ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО – РЕЛЬС» В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ

В статье рассматриваются вопросы обеспечения рациональных режимов торможения в условиях минимальных коэффициентов сцепления в системе «колесо – рельс».

Ключевые слова: режим торможения, «колесо – рельс», коэффициент сцепления, тормозное оборудование.

В настоящее время, для торможения состава исполнительным механизмом торможения является фрикционная пара трения «колесо – тормозная колодка» или тормозной диск. Для выполнения функции торможения к фрикционной паре должно быть подведено довольно большое количество энергии (например, от компрессора или другого источника энергии). При этом вся затраченная энергия в конце всех ее преобразований превращается в тепловую.

Известно, что изменение скорости движения поезда осуществляется за счет внешних сил, возникающих между колесом и рельсом при тор-

можении, но развиваемых как внутренние на подвижном составе. Коэффициент сцепления колес с рельсами определяет, какая часть нормальной силы, приложенной между этими телами, может быть реализована в виде касательного усилия, создающего тяговый или тормозной момент.

Необходимо различать реализуемый (достижимый в процессе эксплуатации подвижного состава) и потенциальный (максимальный, предельный) для данных условий движения коэффициент сцепления.

Коэффициент сцепления уменьшается с ростом нагрузки на колесную пару и повышением скорости движения. На него влияет множество факторов: тип подвижного состава, верхнее строение пути, продольное и поперечное проскальзывание, погодные условия, наличие загрязнений на колесных парах и рельсах, типа тормозных колодок и т.д.

Используемые на железнодорожном транспорте вещества, попадая на рельсы в виде загрязнений, могут привести к значительному снижению коэффициента трения скольжения. Первостепенное значение для надежной эксплуатации железнодорожного подвижного состава имеет правильное регулирование тормозной мощности и соблюдение допустимой скорости на влажных рельсах; важно также эффективно использовать устройство пескоподачи в зависимости от состояния рельсов.

Исследования показывают, что при наличии сухих чистых рельсов коэффициент трения скольжения составляет 0,316 и снижается почти в 4 раза до значения 0,082 при попадании различного рода консистентных смазок. Соответственно тормозной путь при уменьшенном коэффициенте трения скольжения непропорционально увеличивается с ростом скорости движения. Это необходимо учитывать при расчете допустимой максимальной скорости для конкретного участка пути.

Стоит отметить, что в период отрицательных температур наружного воздуха на рельсы также наносится контактирующая жидкость «НЖДКА», которая применяется для ультразвуковой дефектоскопии рельсов железнодорожных путей и представляет собой композицию из неионогенных поверхностно-активных веществ, солей, с добавкой высокомолекулярных соединений. Незамерзающая жидкость для дефектоскопии «НЖДКА» предназначена для работы с ультразвуковыми дефектоскопами, для механизированного ультразвукового контроля с использованием эхометода и зеркально-теневого метода (ЗТМ) при контактном способе ввода ультразвуковых колебаний при отрицательных температурах в качестве контактирующей акустической жидкости.

Однако, как показала практика, применение контактирующей жидкости «НЖДКА» сильно снижает коэффициент сцепления при взаимодействии колеса с рельсом. В результате возникают случаи боксования

локомотивов и случаи возникновения юза колесных пар вагонов при торможении. Особо нужно отметить, что снижение коэффициента сцепления на участках применения служебного торможения пассажирских поездов влечет серьезные последствия, связанные с неплановой заменой колесных пар (вследствие их повреждения) и нарушению расписания движения пассажирских поездов. Выборка случаев возникновения юза колесных пар в пассажирских поездах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ретроспективная статистика случаев возникновения юза (или боксования) в пассажирских поездах на полигоне Забайкальской железной дороги в 2019–2020 гг. из-за недостаточной силы сцепления колес с рельсами

Дата	Станция, перегон	Номер поезда
10.12.2019	Таптугары – Могоча	1
12.12.2019	Тарбагатай – Баляга	99
12.12.2019	Сиваки	326
18.12.2019	Сохондо	100
18.12.2019	Чита-2 – Антипиха	100
18.12.2019	Чита-2 – Антипиха	392
18.12.2019	Антипиха	392
24.12.2019	Могзон – Тайдут	99
25.12.2019	Укурей – Куэнга	1
30.12.2019	Ксеньевская – Кендагиры	7
09.01.2020	Куэнга – Укурей	8
13.01.2020	Куэнга – Укурей	8
15.01.2020	Приисковая – Куэнга	8
17.01.2020	Нюкжа	325
27.01.2020	Могзон – Гонгота	100

Соответственно становится актуальный вопрос обеспечения рациональных режимов торможения в условиях минимальных коэффициентов сцепления в системе «колесо – рельс».

Основополагающей закономерностью, определяющей взаимодействие рельса и колеса при реализации последним тягового или тормозного момента, является характеристика сцепления. Она отражает изменение силы или реализуемого коэффициента сцепления между трущимися поверхностями в зависимости от скорости их взаимного скольжения $c_к$.

Выражения, описывающие характеристику сцепления колес и рельсов при торможении, имеют вид:

$$\begin{array}{lllll} \dfrac{\psi_p}{\psi_{к\,max}} = 45c_к; & 0{,}02 > c_к \geq 0; & \dfrac{dc_к}{dt} > 0; & \dfrac{dc_к}{dt} < 0; & \\ \dfrac{\psi_p}{\psi_{к\,max}} = 0{,}2c_к + 0{,}804; & 0{,}98 > c_к \geq 0{,}02; & \dfrac{dc_к}{dt} > 0; & \dfrac{dc_к}{dt} < 0; & (1) \\ \dfrac{\psi_p}{\psi_{к\,max}} = -35c_к + 35{,}3; & 1{,}0 > c_к \geq 0{,}98; & \dfrac{dc_к}{dt} > 0; & & \\ \dfrac{\psi_p}{\psi_{к\,max}} = 0{,}1c_к + 0{,}45; & 0{,}01 \leq c_к < 1{,}0; & \dfrac{dc_к}{dt} < 0. & & \end{array}$$

Стандартный график характеристики сцепления колес с рельсами при торможении представлен на рис. 1.

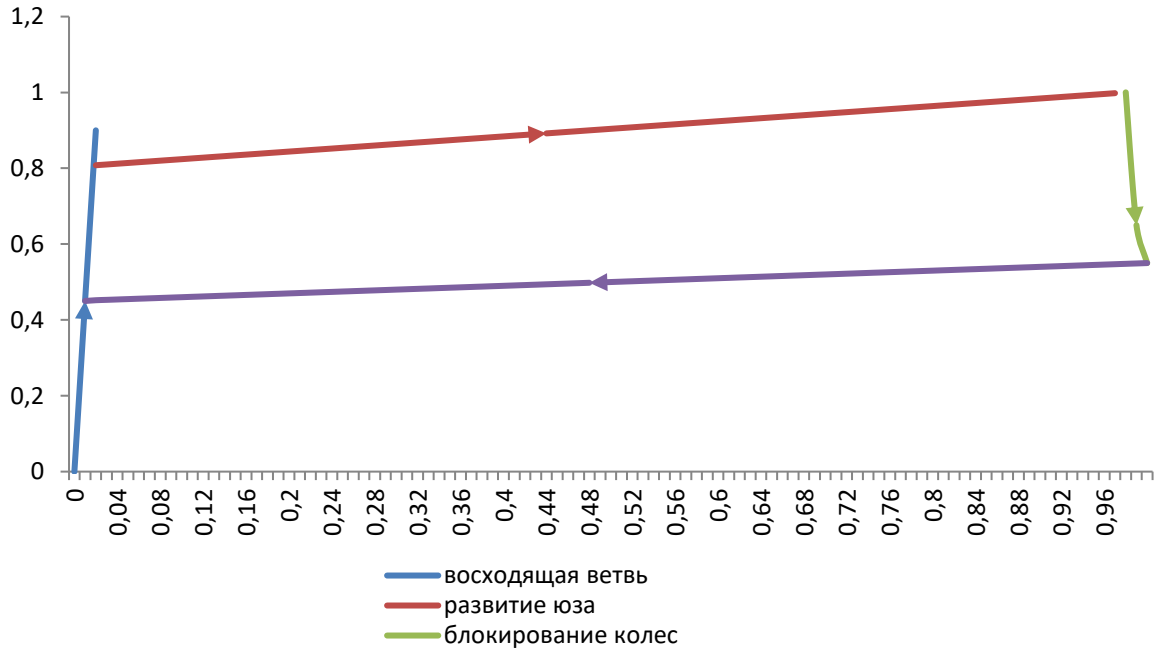


Рис. 1. Характеристика сцепления колес и рельсов при торможении

Если рассматривать процессы, представленные на графике (рис. 1), то можно отметить:

- на восходящей ветви характеристики сцепления (в пределах ее половины) основная часть железнодорожного подвижного состава реализует тормозные процессы;

• переход к юзу и повышенному скольжению (пластическим деформациям) происходит на второй ветви характеристики (развитие юза) происходит после небольшого срыва силы;

• снижение тормозного нажатия позволяет перемещать рабочую точку на первой и второй ветвях характеристики в область пониженных скольжений, если тормозное нажатие при юзе не уменьшать, то при скольжении, близком к единице происходит срыв сцепления с возникновением температурных вспышек на колесе, которое должно блокироваться.

Соответственно, чтобы не допустить повреждение поверхности колеса, необходимо за доли секунды уменьшить нажатие тормозных колодок, после чего рабочая точка переместится по четвертой ветви на первую ветвь характеристики сцепления и юз прекратится.

С целью выработки технических решений, обеспечивающих условие безъюзового торможения, в условиях эксплуатации подвижного состава с пониженным коэффициентом сцепления, целесообразно рассматривать такой показатель как коэффициент использования сцепления. Графически он может быть представлен соотношением изменения тормозных сил к потенциальным силам сцепления колес с рельсами.

Изменение расчетного тормозного коэффициента $\vartheta_р$ при наполнении тормозных цилиндров с достаточной точностью можно аппроксимировать экспонентой по выражению

$$\vartheta_р(t) = \vartheta_р \cdot (1 - e^{-\alpha t}). \qquad (2)$$

где e – основание натурального логарифма;

α – показатель экспоненты.

Соответственно, используя выражения (1) и (2) можно аналитически и графически определить соотношение потенциальной силы сцепления и тормозной силы в условиях реализации тормозных процессов в системе «колесо – рельс».

В качестве исходных данных для расчета примем следующие:

– пассажирский поезд с расчетным тормозным коэффициентом равным 0,6;

– торможение пневматическое, показатель степени (для выражения 2) принимаем 0,2;

– шаг интервала времени – 1 секунда;

– диапазон коэффициента проскальзывания колеса по рельсу от 0 до 1, с шагом изменения 0,01.

Результаты расчетов приведены в табл. 2, график параметров соотношения изменения тормозных сил к потенциальным силам сцепления

колес с рельсами виде представлены на рис. 2. Таким образом, из результатов расчетов видно, что при стандартных условиях торможения происходит не полное использование тормозной силы и имеется запас по обеспечению безъюзового торможения, который составляет порядка 30%.

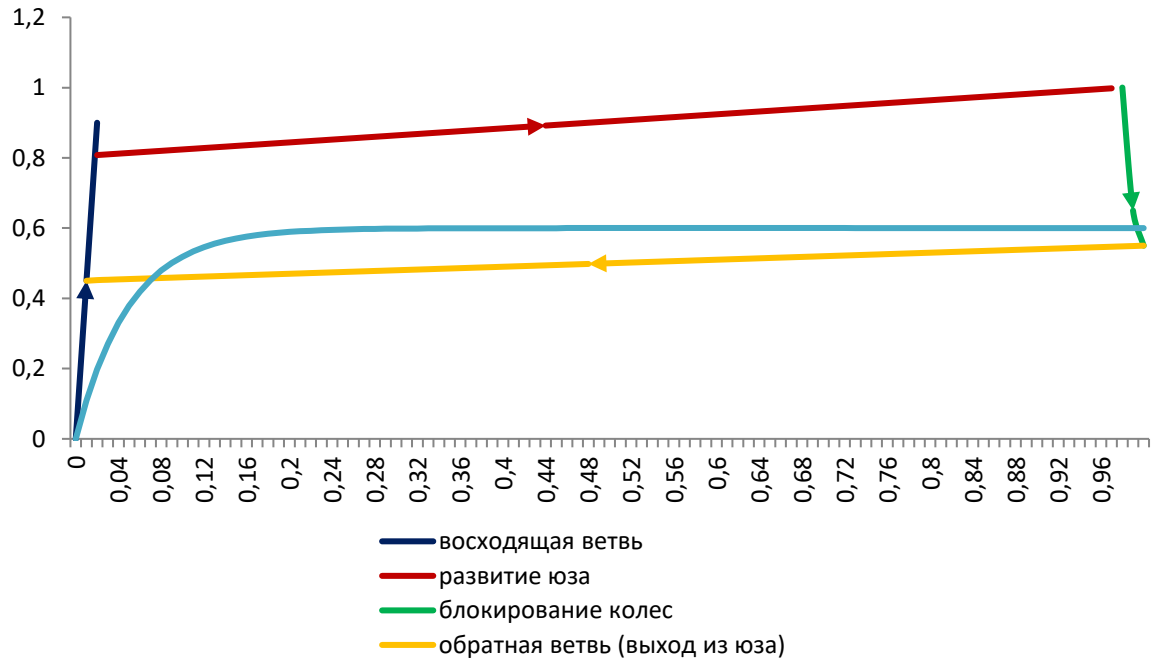


Рис. 2. График соотношения тормозных сил к потенциальным силам сцепления колес с рельсами

Расчетный коэффициент силы нажатия тормозных колодок $\delta_р$ и расчетный коэффициент сцепления единицы подвижного состава определяются по формулам и выбирают исходя из условий надежности сцепления колес с рельсами при торможении:

$$\delta_р = \frac{К_р \cdot n}{T+Q}. \quad (3)$$

$$\delta_р \varphi_{кр} = \psi_к. \quad (4)$$

$$\psi_к = \psi(v) \cdot \psi(q_0). \quad (5)$$

$$\psi(q_0) = 0.17 - 0.0015 \cdot (q_0 - 5). \quad (6)$$

$$\psi(v) = \frac{v+576}{4v+576}. \quad (7)$$

$$\frac{\delta_{\text{р}}\varphi_{\text{кр}}}{\psi_{\text{к}}} \leq 0{,}9. \quad (8)$$

Расчетный коэффициент сцепления колес с рельсами, при торможении принимают для различного подвижного состава, для пассажирских вагонов расчетные коэффициенты сцепления колес с рельсами приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные коэффициенты сцепления колес с рельсами для пассажирских вагонов

Скорость, км/ч	Расчетный коэффициент сцепления $\psi_{\text{к}}$ при нагрузке от одной колесной пары на рельс, тс.									
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
40	0,139	0,135	0,132	0,127	0,123	0,119	0,115	0,111	0,107	0,104
140	0,106	0,102	0,099	0,096	0,093	0,090	0,087	0,084	0,081	0,079
160	0,102	0,099	0,096	0,093	0,090	0,087	0,084	0,081	0,078	0,076

Коэффициент сцепления зависит состояния рельсов, конструкции и содержания подвижного состава в эксплуатации и изменяется в больших пределах. Если в расчетах тормозных нажатий принимать минимальные значения $\psi_{\text{к}}$, то эффективность тормозных средств снижается, а завышенные значения $\psi_{\text{к}}$ вызывают большую вероятность повреждения колесных пар вследствие их заклинивания.

В рамках исследования обеспечения безъюзового торможения, расчеты проводились для пассажирских вагонов с различной массой тары, исходные данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для расчета параметров тормозов пассажирского вагона

Жесткость пружин, Н/мм		Предварительный натяг пружин, Н	
Цилиндр	Регулятор	Цилиндр	Регулятор
6,5	23	1550	1700
Тара вагона	Передаточное число ТРП	КПД ТРП	Сила нажатия на колодку, тс
53 – 62	5,3	0,9	1,03
48 – 52	4,4	0,9	0,88
42 – 47	3,6	0,9	0,74

Далее по формуле (8) определялось условие безъюзового торможения. Результаты расчетов представлены в табл. 4 и на рис. 3.

Таблица 4

Расчет обеспечения условия безъюзового торможения для стандартных условий (сухой рельс)

Скорость, км/ч	Коэффициент сцепления			Условие безъюзового торможения (менее 0,9)		
	(53 - 62) т	(48 - 52) т	(42 - 47) т	(53 - 62) т	(48 - 52) т	(42 - 47) т
20	0.145934	0.14423	0.141675	0.089525	0.089577	0.084963
30	0.139855	0.138222	0.135773	0.12277	0.123739	0.118208
40	0.134436	0.132867	0.130513	0.15534	0.157519	0.151405
50	0.129576	0.128064	0.125795	0.187376	0.190976	0.184537
60	0.125193	0.123732	0.12154	0.218985	0.224153	0.217588
70	0.121219	0.119804	0.117682	0.250249	0.257086	0.250551
80	0.1176	0.116228	0.114169	0.281232	0.289807	0.283418
90	0.114291	0.112957	0.110956	0.311984	0.322338	0.316184
100	0.111253	0.109954	0.108006	0.342547	0.354701	0.348846
110	0.108453	0.107188	0.105289	0.372952	0.386914	0.381403
120	0.105866	0.104631	0.102777	0.403225	0.41899	0.413853
130	0.103468	0.10226	0.100449	0.433389	0.450943	0.446198

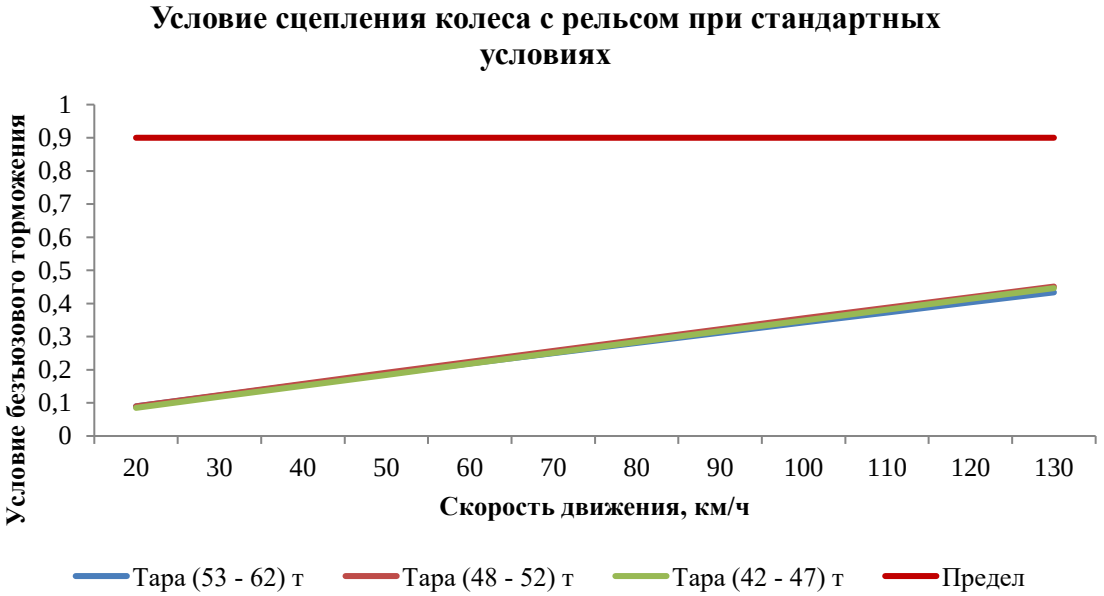


Рис. 3. Условие безъюзового торможения при стандартных условиях

Из расчетов (табл. 5, рис. 3) видно, что условие безъюзового торможения выполняется на всем интервале скоростей движения. Однако, учи-

тывая ранее рассмотренные случаи возникновения юза в пассажирских поездах, необходимо рассмотреть условие безъюзового торможения в условиях, когда не рельс нанесено покрытие, снижающее силу сцепления.

Особое внимание заслуживают результаты экспериментальных исследований сцепления колеса с рельсом, проведенные в Словении и отраженные в статье «Состояние рельсов и условия сцепления в системе колесо – рельс» (журнал «Железные дороги мира», 2012. – № 9. – С. 67–70). В табл. 5 приведены результаты указанного эксперимента, а именно средние значения коэффициентов трения скольжения колеса по рельсу.

Таблица 5

Средние значения коэффициентов трения скольжения колеса по рельсу

№	Вид загрязнения рельса	Среднее значение коэффициента трения скольжения
1	Сухой, чистый (эталонное измерение) рельс	0,316
2	Смесь средства огнетушения TG300 с водой в соотношении 1:4, нанесенная на влажный рельс + кварцевый песок	0,277
3	Универсальная жидкая смазка INA Nipenol 90 + кварцевый песок	0,194
4	Смесь средства огнетушения TG300 с водой в соотношении 1:4, нанесенная на сухой рельс + кварцевый песок	0,144
5	Универсальная консистентная смазка TRAM-LUB F234 MOD2 + кварцевый песок	0,123
6	Влага	0,099
7	Консистентная смазка букс Shell ALVANIA EP (LF)2 + кварцевый песок	0,093
8	Смесь средства огнетушения TG300 с водой в соотношении 1:4, нанесенная на влажный рельс	0,092
9	Универсальная жидкая смазка INA Nipenol 90	0,084
10	Универсальная консистентная смазка TRAM-LUB F234 MOD2	0,082
11	Влага, грунт	0,076
12	Смесь средства огнетушения TG300 с водой в соотношении 1:4, нанесенная на сухой рельс	0,067
13	Средство для смазывания гребней бандажей Cico TL 1500 B	0,064
14	Консистентная смазка букс Shell ALVANIA EP (LF)	0,042

Из табл. 6 видно, что в зависимости от загрязнения рельса коэффициент трения скольжения (а значит и коэффициент сцепления) может варьироваться от 0,042 до 0,316 (или изменяться в 7,5 раз).

Проводя повторный расчет с учетом снижения коэффициента сцепления (в 7 раз) в условиях загрязнения рельсов смазочными материалами, получены значения соотношения силы трения колодок о колесо к силе сцепления колеса с рельсом. Результаты расчета представлены в табл. 6 (и рис. 4), из которой видно, что условие безъюзового торможения обеспечивается до скорости 30 км/ч.

Таблица 6

Расчет обеспечения условия безъюзового торможения

Скорость, км/ч	Коэффициент сцепления			Условие безъюзового торможения (менее 0,9)		
	(53 - 62) т	(48 - 52) т	(42 - 47) т	(53 - 62) т	(48 - 52) т	(42 - 47) т
20	0.020848	0.020604	0.020239	0.626678	0.627037	0.59474
30	0.019979	0.019746	0.019396	0.85939	0.866171	0.827456
40	0.019205	0.018981	0.018645	1.087378	1.102636	1.059837
50	0.018511	0.018295	0.017971	1.31163	1.33683	1.291756
60	0.017885	0.017676	0.017363	1.532893	1.569068	1.523119
70	0.017317	0.017115	0.016812	1.751741	1.799604	1.753858
80	0.0168	0.016604	0.01631	1.968623	2.028646	1.983924
90	0.016327	0.016137	0.015851	2.183891	2.256367	2.213286
100	0.015893	0.015708	0.015429	2.397829	2.48291	2.441921
110	0.015493	0.015313	0.015041	2.610662	2.708397	2.669818
120	0.015124	0.014947	0.014682	2.822577	2.93293	2.896972
130	0.014781	0.014609	0.01435	3.033725	3.156599	3.123383

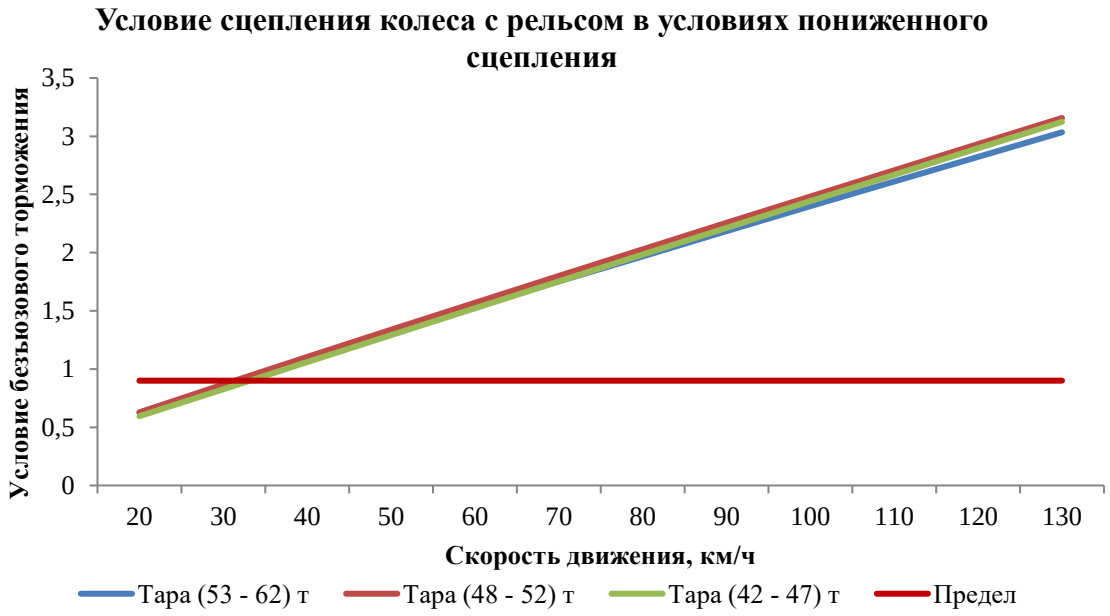


Рис. 4. Условие безъюзового торможения в условиях пониженного сцепления

Таким образом, надежное условие безъюзового торможения при пониженном коэффициенте сцепления в пассажирских поездах обеспечивается до скорости 30 км/ч. Соответственно, с целью предотвращения повреждения колес подвижного состава при торможении, необходимо строго выполнять требования раздела «Особенности управления тормозами пассажирских поездов в зимних условиях», Правил технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава, утвержденных Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от 6-7 мая 2014 г. № 60).

Библиографический список

1. Иванова, Т. В. Влияние лубрикации на ресурс рельсов по предельному боковому износу / Т. В. Иванова, И. В. Мурзин, Д. Г. Налабордин. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 13–15.

2. Иванова, Т. В. Определение износа гребня колеса грузового вагона / Т. В. Иванова, В. А. Петровых, Д. Г. Налабордин. – Текст : непосредственный // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – № 1. – С. 27–29.

3. Иванова, Т. В. Оценка стоимости жизненного цикла полувагона по коэффициенту эксплуатационных затрат / Т. В. Иванова, Д. Г. Налабордин, Е. А. Ларченко. – Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. – 2015. – № 4. – С. 38–45.

4. Иванова, Т. В. Оценка влияния лубрикации на ресурс рельсов по критерию предельного бокового износа / Т. В. Иванова, Д. Г. Налабордин. – Текст : непосредственный // Образование – Наука – Производство : сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, г. Чита, 2020. – С. 22–29.

Е.Ю. Кривова, Е.А. Рожкова
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ РЕМОНТА БОКОВОЙ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ

В работе рассматривается вопрос внедрения автоматизации по ремонту боковой рамы грузовых тележек.

Ключевые слова: боковая рама, позиция, неразрушающий контроль, автоматизированная линия, ремонт.

Оптимизируем время в ходе ремонта боковой рамы тележки. Чтобы это сделать, нам необходимо автоматизировать процесс ремонта боковой рамы тележки. Для начала разберемся с понятиями автоматизация и механизация. Автоматизация представляет собой замену физического труда человека на управление механизмов и машин (автоматическое регулирование), а механизация технического процесса – применение энергии неживой природы при выполнении технологических операций, полностью управляемых людьми. Происходит замена ручного труда машинным, при котором человек сохраняется за управлением и контролем [1, 2].

Также мы рассмотрим разницу между автоматизацией и механизацией. Так в чем же состоит отличие?

1. Достижение конечного результата – автоматизированное оборудование должно иметь большую производительность, чем механизированное;

2. Комплексность – автоматизация производства должна охватывать все производственные структуры, связанные с выпуском продукции;

3. Экономическая необходимость – автоматизация допускается там, где она экономически оправдана.

Предлагается внедрить автоматизированную линию (рис. 1).

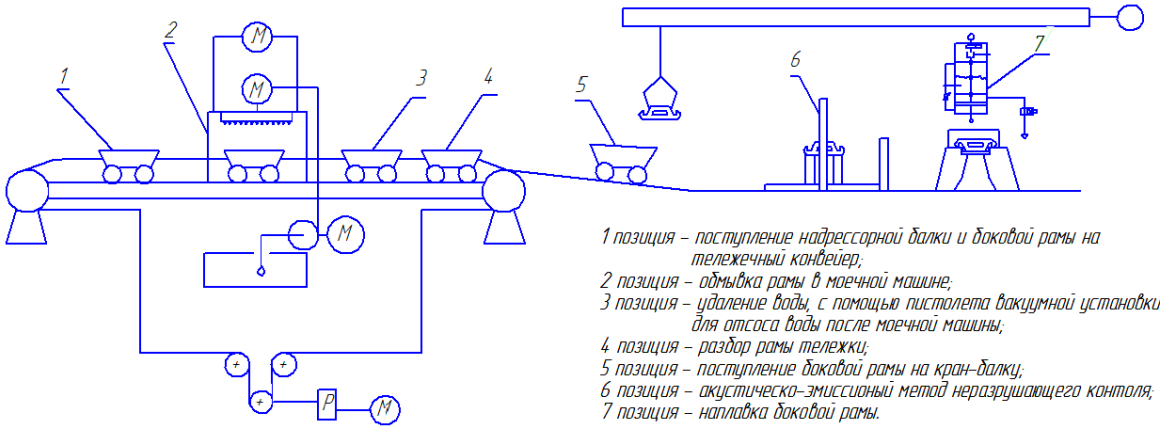


Рис. 1. Автоматизированная линия ремонта боковой рамы тележки

1 позиция – в тележечный цех на тележечный конвейер поступает надрессорная балка и боковая рама.

2 позиция – обмывка рамы в моечной машине комплексом водоструйной очистки тележки грузового вагона КВ-Т, продолжительность

мойки составляет не более 10 минут, температура моющего раствора в диапазоне от 40 до 90 градусов Цельсия, габаритные размеры 14000/8909/9126. Моющее средство подается сверху и снизу под давлением. Моющая машина представлена на рис. 2.

Рис. 2. Комплекс водоструйной очистки тележки грузового вагона КВ-Т

3 позиция – перед разборкой удаляем воду из подпятника надрессорной балки и карманов боковой рамы, с помощью пистолета вакуумной установки для отсоса воды после моечной машины. Вакуумная установка для отсоса воды: Ab115 - Пневматическая система 50 обеспечивает высокопроизводительный отсос и перемещения жидкостей. В стандартной версии система может заполнить контейнер жидкостью за 1-2 минуты. Рабочие инструменты рассчитаны на тяжелые условия эксплуатации. Контейнер смонтирован на тележке и легко опорожняется в приемные емкости. Обладает рядом качеств: высокая производительность, проста в обращении, наличие опорожняемого контейнера. Данная система представлена на рис. 3.

4 позиция – разделяем надрессорную балку от боковой рамы и далее боковая рама поступает на кран-балку это *5 позиция*.

6 позиция – позиция неразрушающего контроля. Применяется установка АЭ-РБ-1 акустико-эмиссионного контроля. Работа автоматизирована полностью, от оператора требуется только установка преобразователей на поверхность исследуемой детали, проверка контакта с поверх-

ностью и запуск процесса тестирования. Параметры работы установки и полученные данные регистрируются с выдачей заключения о годности элементов конструкции к дальнейшей эксплуатации. Данное оборудование представлено на рис. 4.

Рис. 3. Вакуумная установка для отсоса воды: Ab115 - Пневматическая система 50

Рис. 4. Установка АЭ-РБ-1 акустико-эмиссионного контроля

Акустическая эмиссия – это пассивный метод неразрушающего контроля. Главная цель ее использования – это выявление трещин, разломов, расслоений, коррозийных процессов. При этом мы можем отследить как дальше будет себя вести дефект и определить класс опасности [3, 4].

Принципиально важное условие для АЭ-метода – наличие нагрузки, под действием которой трещины металла и иные развивающиеся дефекты «проявляют себя». Это и есть источники акустической эмиссии, для обнаружения которых предназначаются датчики, использование метода АЭ позволяет не только определять координаты, но и тип дефекта, степень его опасности [5].

7 позиция – наплавка боковой рамы. Боковая рама крепится на специальный стенд для наплавки, который служит для поворота боковой рамы тележки при выполнении операций по осмотру, ремонту с использованием сварочного оборудования и наплавке дефектных и изношенных поверхностей боковой рамы тележки, при ремонте в условиях депо. Для удобства ремонтного персонала стенд оборудован боковыми лестницами с ограждением (рис. 5).

Рис. 5. Стенд для наплавки боковой рамы

К этому стенду в наличии идет сварочный полуавтомат ПДГО-501-1 и ПДГО-501-3. Предназначен для сварки стальной электродной проволокой в среде углекислого газа и для сварки и наплавки порошковой

проволокой. Полуавтоматы работают в закрытых помещениях с естественной вентиляцией и изготавливаются по условиям эксплуатации климатического исполнения У3 – для работы в странах с умеренным климатом при температуре окружающего воздуха от -10ºС до +40ºС, относительной влажности 80% при 15ºС на высоте над уровнем моря до 1000 м. ПДГО-501-1 (ступенчатое регулирование), ПДГО-501-3 (плавное регулирование). Механизм подачи размещен на тележке с фигуркой, на которую можно уложить бухту электродной проволоки массой до 80 кг. Сварочный полуавтомат представлен на рис. 6.

Рис. 6. Сварочный полуавтомат ПДГО-501-1 и ПДГО-501-3

Разработанная автоматизированная линия является необходимой для выполнения качественного ремонта в соответствие с технологическим процессом.

Библиографический список

1. Рожкова, Е. А. Системы автоматизации производства и ремонта вагонов : учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы для студентов / Е. А. Рожкова. – 2019. – Текст : непосредственный.

2. Рожкова, Е. А. Системы автоматизации производства и ремонта вагонов : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ для студентов / Е. А. Рожкова. – 2020. – Текст : непосредственный.

3. Полуавтоматы российского производства. – URL : http://raservis.ru/electro/svar/896-automat?start=5. – Текст : электронный.

4. Установка АЭ-РБ-1 акустико-эмиссионного контроля боковых рам и надрессорных балок тележек грузовых вагонов модели 18-100. – URL :

https://www.mashprom-zvd.ru/аэ-рб-1-установка-акустико-эмиссионно/ – Текст : электронный.

5. Группа компаний «Энергосервис». Оборудования для ремонта грузовых вагонов. – URL : http://www.energos.su/production/oborudovanie-dlya-remonta-gruzovyh-vagonov/oborudovanie-tseha-po-remontu-telezhek/rv-t – Текст : электронный.

Е.А. Ларченко, Д.А. Яковлев, А.А. Еременко, Д.В. Фомин
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ОАО «РЖД»

В статье приведена техническая оценка внедрения цифровой технологии «Доверенная среда локомотивного комплекса», которая направлена на устранение ряд проблем в локомотивном комплексе. С помощью цифровых технологий сервисные депо могут заранее получать информацию о необходимом объёме работ и количестве необходимых запасных частей это поможет снизить количество простоя подвижного состава в ремонте.

Ключевые слова: локомотив, доверенная среда, цифровая трансформация, железные дороги, локомотивный комплекс.

В последнее время особое внимание в ОАО «РЖД» уделено внедрению цифровых технологий. Стратегия по инновационному развитию транспорта в России была принята в 2016 году, где одной из её целей является развитие цифровых технологий.

Внедрение цифровой трансформации в производство сокращает непроизводительные потери времени на выполнение рутинных операций, а также даёт конкурентное преимущество стратегии развития организации.

В настоящее время перед транспортной отраслью РФ стоит ряд проблем, например:

– неэффективность организации ремонтного процесса традиционными методами;

– нет единого оперативного управления транспортным комплексом;

– нет оперативной информации, а также нет возможности скоординировать в общую схему действия работников транспортной деятельности;

– нет мониторинга состояния объектов транспортной инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла;

– нет цифрового инструмента контроля состояния объектов транспортной инфраструктуры (существующих и строящихся), включая предиктивную аналитику необходимости обслуживания и ремонта;

– существует высокая аварийность ввиду человеческого фактора.

Анализируя все проблемы, возникающие в работе тягового подвижного состава, было предложено, что в эксплуатационной работе необходимы локомотивы с улучшенными потребительскими качествами, а также необходимо внедрение цифровых технологий (рис. 1) при его эксплуатации и обслуживании.

В рамках реализации цифрового проекта, компания ОАО «РЖД», совместно с машиностроителями продолжает развитие ключевого цифрового решения «Умный локомотив» и «Доверенная среда локомотивного комплекса», на базе которых предстоит перейти на безлюдные технологии и на цифровое управление процессами.

На рис. 1 отображена цифровая трансформация на перспективу развития РЖД.

Рис. 1. Цифровая трансформация на перспективу развития РЖД

Также под цифровую трансформацию попадает и эксплуатационная деятельность железной дороги (рис. 2).

«Доверенная среда локомотивного комплекса» является фундаментом для целого ряда проектов, так как в её основе лежит цифровая платформа для сбора, хранения информации и взаимодействия участников проекта с «озером данных» локомотивного комплекса.

Например, в Дирекции тяги на основании указанных данных доверенной среды уже реализуется проект «Смарт-контракт сервисного обслуживания с применением технологии блокчейн», а также реализуются проекты построения моделей по предиктивному (предсказательному) анализу отказов оборудования локомотивов и нарушений безопасности локомотивными бригадами с использованием искусственного интеллекта.

Разработка автоматизированной системы «Доверенная среда локомотивного комплекса» ведётся АО «ВНИИЖТ» с 2018 года. Работа началась с формирования технической базы хранения «больших данных». Была создана оболочка для приёма и хранения данных от информационных систем ОАО «РЖД» и компаний локомотивного комплекса.

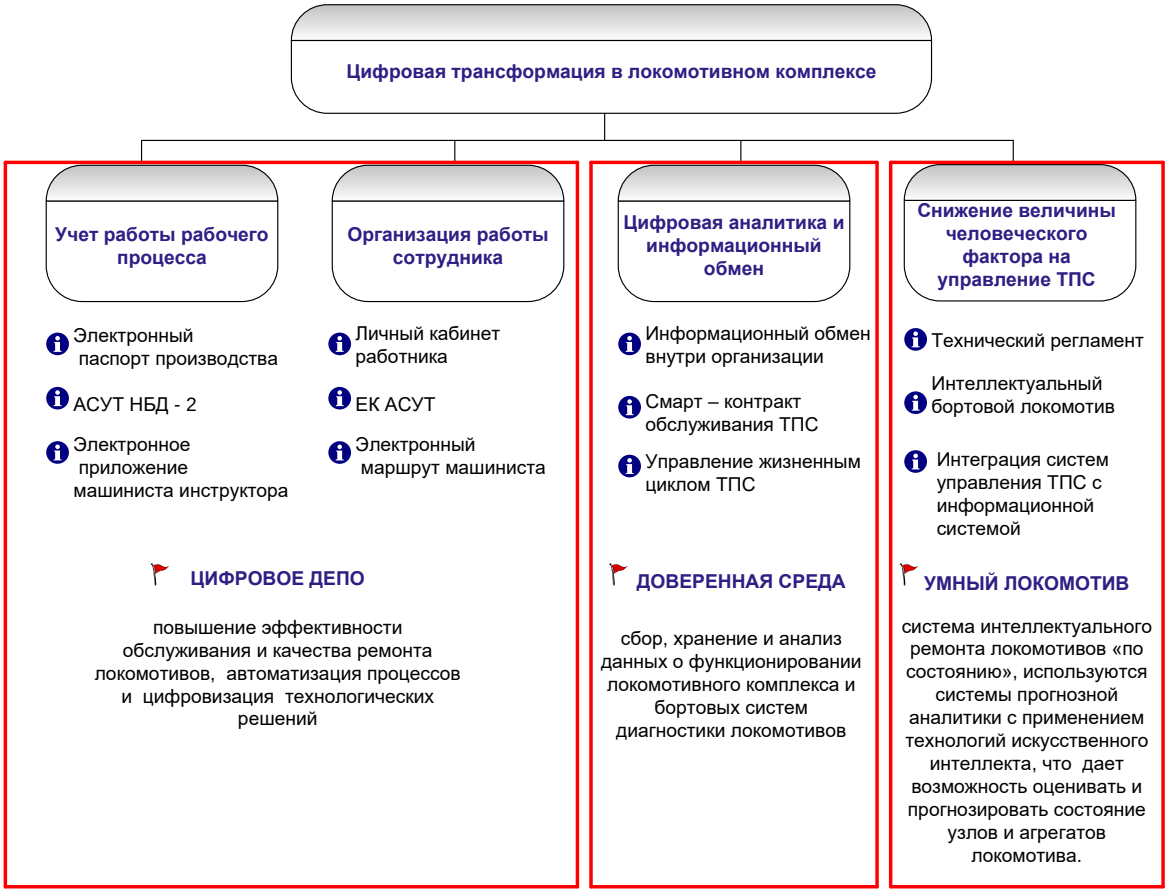


Рис. 2. Задачи цифровой трансформации в локомотивном комплексе

В 2019 году доверенная среда начала наполняться информацией из автоматизированных систем РЖД и бортовых устройств тягового подвижного состава, к концу того же года были получены первые модели предиктивного анализа по тяговым электродвигателям локомотивов 2ЭС6, 2ЭС10.

В 2020 году были подписаны соглашения об обмене данными с ООО «ЛокоТех-Сервис» и ООО «Синара – транспортные машины», к доверенной среде была подключена информационная система ООО «ЛокоТех-Сервис».

Автоматизированная система «Доверенная среда локомотивного комплекса» представляет собой web-приложение, которое имеет несколько рабочих зон (рис. 3).

Например, в блоке «Общая информация» содержатся данные о состояниях и операциях, которые происходили с локомотивами в ходе эксплуатации и в ремонте, в этом блоке содержатся документы из ЕС ПУЛ в виде сформированного XML-документа, там же имеются данные по работе локомотивных бригад. При клике на модуль с наименованием «Аналитика по локомотивным бригадам ЦТ» отображается экранная форма, которая включает в себя графическое изображение прогнозируемых уровней риска машинистов по дорогам, качества расследования нарушений, выявленных при расшифровке скоростемерных лент и электронных носителей информации, распределения групп с грубыми нарушениями по дирекциям, а также таблицу с указанием по дирекциям тяги относительного количества машинистов, находящихся в «критической» и «недопустимой» зоне.

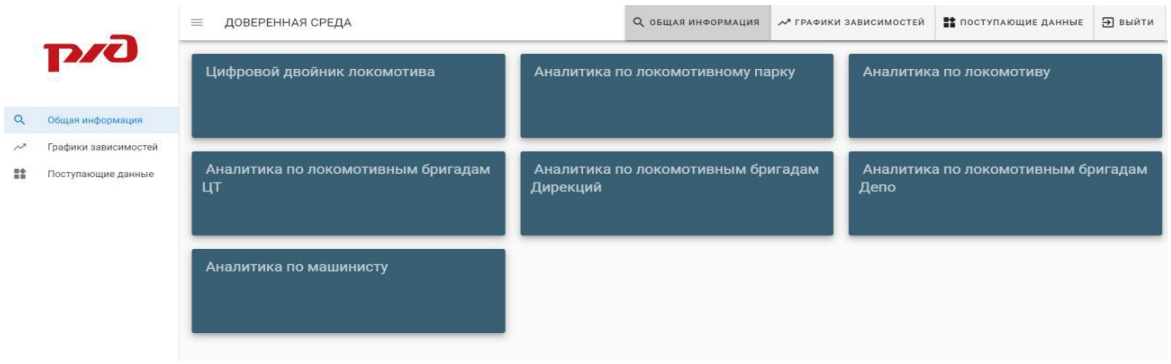


Рис. 3. Главное окно АСУ «Доверенная среда локомотивного комплекса»

В этой системе можно получить информацию о результатах работы моделей предотказного состояния оборудования электровозов по дирекции приписки локомотивов.

В настоящее время платформа «Доверенная среда» находит своё применение в локомотивном хозяйстве, где на её базе происходит сбор, хранение и анализ данных локомотива и всех его комплексов и систем. Все участники этой системе имеют доступ ко всем данным от заводов – изготовителей, поставщиков и сервисных депо.

Очень важно, что все заинтересованные участники будут получать актуальную информацию о работе узлов локомотива (рис. 4), а цифровые системы будут предупреждать о необходимости проведения ремонтных работ или замене каких-нибудь деталей заранее, до наступления возможного отказа.

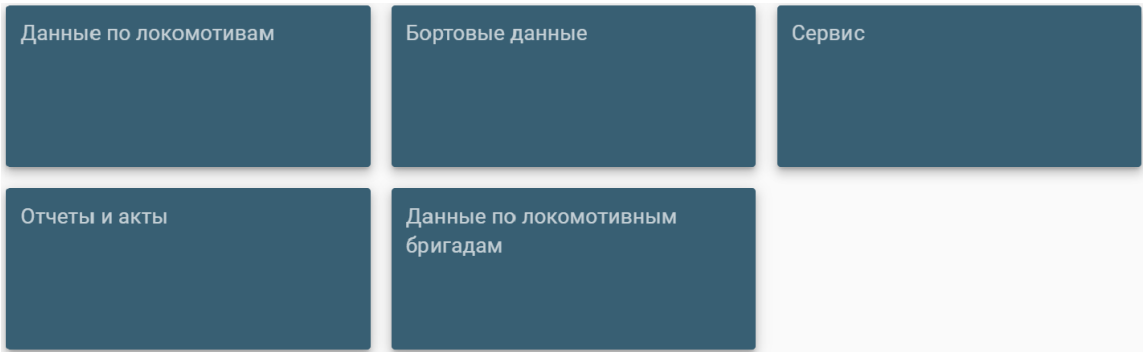


Рис. 4. Модули видов данных, поступающих в доверенную среду

Таким образом, сервисные депо могут заранее получать информацию о необходимом объёме работ и количестве необходимых запасных частей это поможет снизить количество простоя подвижного состава в ремонте.

Данная цифровая платформа позволит получать актуальные данные о состоянии локомотивного парка в реальном времени и планировать его работу и обслуживание.

Библиографический список

1. Панченко, Ю. Ю. К вопросу оценки экономической эффективности интеграции железнодорожного транспорта в цифровую экономику / Ю. Ю. Панченко // Сборник научных трудов ДонИЖТ. – 2021. – № 62. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-otsenki-ekonomicheskoy-effektivnosti-integratsii-zheleznodorozhnogo-transporta-v-tsifrovuyu-ekonomiku (дата обращения: 30.11.2022). – Текст : электронный.

2. Машакина, Н. А. Влияние цифровой экономики на развитие транспортной отрасли в мире / Н. А. Машакина, А. Е. Велиев // ЦИТИСЕ. – 2020. – № 1 (23). – С. 290–299. – Текст : непосредственный.

3. Абдрахманова, Г. И. Цифровая трансформация: ожидания и реальность / Г. И. Абдрахманова, С. А. Васильковский, К. О. Вишневский, М. А. Гершман, Л. М. Гохберг [и др.] ; рук. авт. кол. П. Б. Рудник ; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – Москва : Издательский дом Высшей школы экономики, 2022. – 221 с. – Текст : непосредственный.

А.Л. Мартусов
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ, НАБЛЮДАЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ТЭД ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье рассматривается вопрос адекватности результатов математического моделирования регуляторов мощности, применяемых на испытательных станциях тяговых электродвигателей подвижного состава. Для оценки адекватности, с помощью электронного измерительного блока, выполнено построение осциллограмм питающего напряжения и тока, которые позволили рассчитать суммарное действующее напряжение учитываемых гармоник и их начальные фазы. Также построены осциллограммы выпрямленного напряжения и тока, полученные с помощью электронного измерительного блока. Представленный математический анализ регуляторов мощности испытательной станции доказывает эффективность применения разработанного алгоритма управления силовыми полупроводниковыми приборами (СПП).

Ключевые слова: подвижной состав, испытательная станция, выпрямитель, тяговый двигатель, электромагнитная совместимость, коэффициент заполнения, математическая модель.

Для получения адекватных полученных результатов математического моделирования испытательной станции тяговых электродвигателей подвижного состава необходимо сопоставить протекающие электромагнитные переходные и установившиеся процессы разработанной математической модели реальным процессам.

В качестве реальных электромагнитных процессов протекающих в электрической цепи с предлагаемым электрическим полупроводниковым регулятором были приняты результаты экспериментальных иссле-

дований работы стенда, собранного в Иркутском Государственном Университете Путей сообщения. На рис. 1 представлен внешний вид стенда, подключенного к блоку аналогово-цифрового преобразователя, для получения цифровых данных. В качестве нагрузки использовался двигатель постоянного тока П21М, внешний вид которого представлен на рис. 1, а основные характеристики – в табл. 1. В ходе проверки контролировались такие параметры как форма и значение напряжения и тока на входе регулятора мощности, выпрямленного напряжения и тока в цепи двигателя [1-5]. При сравнении выбран вариант работы машины в двигательном режиме с параметрами:

- напряжение источника питания 220 В, 50Гц;
- коэффициент заполнения IGBT-транзистора 15%.

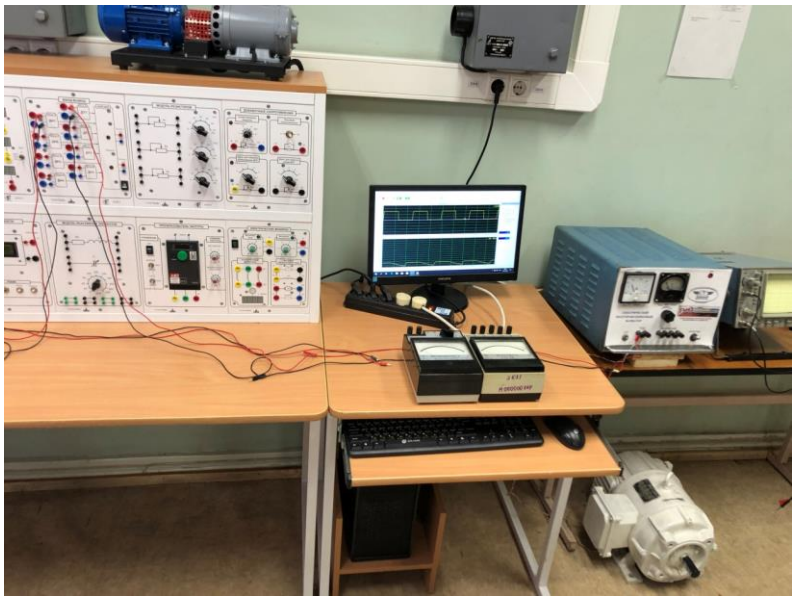


Рис. 1. Стенд электрического полупроводникового вариатора

Таблица 1

Технические характеристики П21М

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	Мощность, кВт	0,5
2	Напряжение, В	50
3	Потребляемый ток, А	14,5
4	Частота вращения, об/мин	1400
5	Кпд, %	69

Алгоритм управления [6] двигателем описан во второй главе, при подключении стенда к сети, происходит заряд промежуточного накопителя, после включения тумблера «Нагрузка» происходит замыкание контактов, обеспечивающих создание замкнутого контура прохождения электрического тока по обмотке якоря и обмотке возбуждения двигателя. При переключении тумблера «СУ», включается в работу система управления IGBT-транзистора, обеспечивающая подачу импульсного напряжения в цепь двигателя. При повороте ручки потенциометра по часовой стрелке, происходит увеличение времени открытого состояния IGBT-транзистора путем увеличения ширины прямоугольных импульсов управления. Внешний вид стенда электрического полупроводникового вариатора и осциллограф для измерения напряжения и тока на входе преобразователя представлен на рис. 2.

В результате испытания двигателя были получены осциллограммы следующих сигналов:

– питающее напряжение и ток;
– выпрямленного напряжение и ток в цепи двигателя.

Данные осциллограммы были получены путем преобразования аналогового сигнала, предварительно уменьшенного трансформаторами для безопасности проборов, в цифровой сигнал, поступающий на персональный компьютер, где специальной программой обрабатывается и представляется в виде осциллограмм (рис. 3).

Рис. 2. Осциллограммы напряжения и тока на входе преобразователя

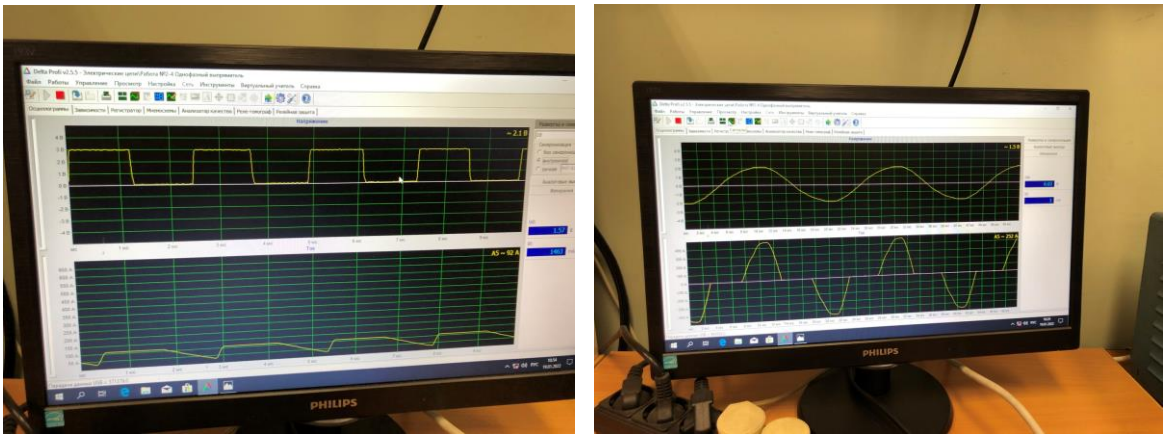


Рис. 3. Осциллограммы входного и выпрямленного значения напряжения и тока

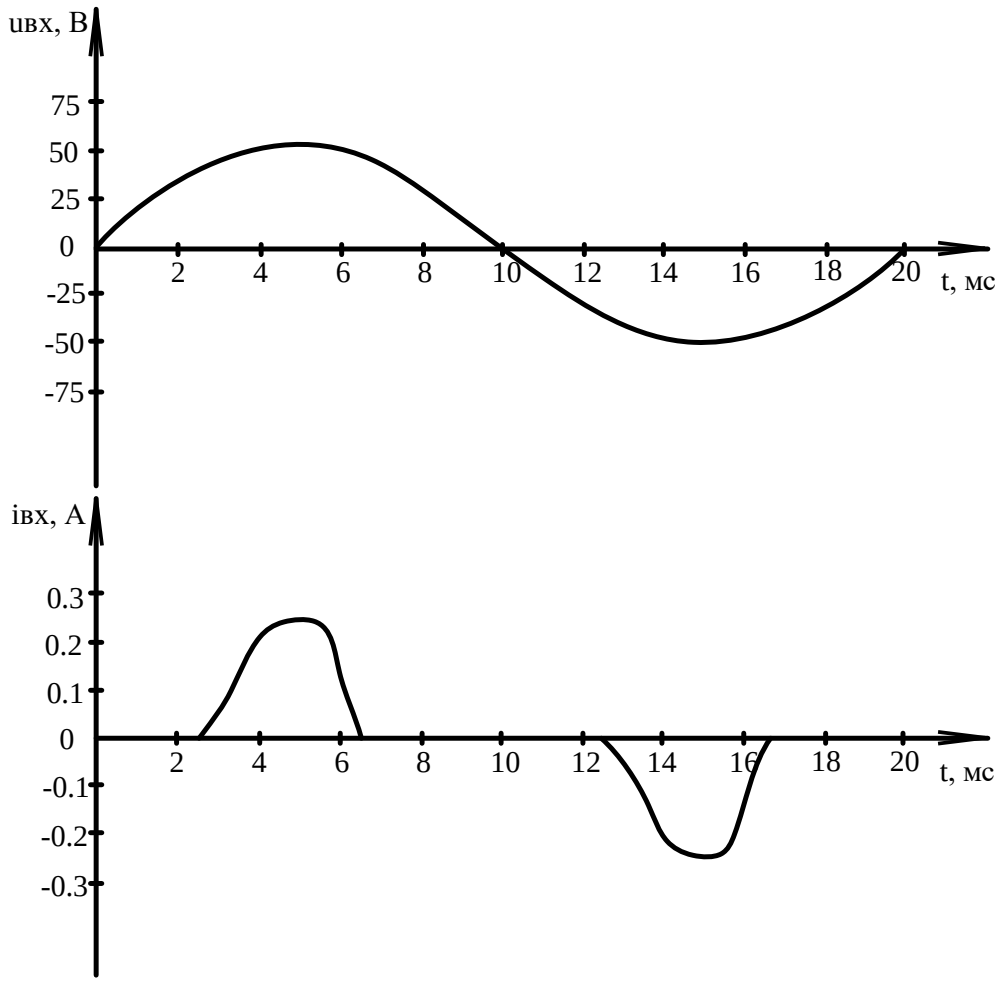


Рис. 4. Осциллограммы питающего напряжения и тока полученные с помощью электронного измерительного блока

Представленные осциллограммы возможно сохранять с помощью записи экрана, либо с помощью специальной настройки в формате pdf, осциллограммы питающего напряжения и тока, полученные с помощью электронного измерительного блока, представлены на рис. 4. Для расчета относительной погрешности данных математического моделирование электрического полупроводникового преобразователя относительно экспериментальных замеров показателей работы стенда было проведено по 11 измерений в каждом случае и выбраны средние значения контролируемых параметров. Результаты, полученные при математическом моделировании электрического полупроводникового преобразователя представлены в табл. 2, 3 и 4.

Таблица 2

Суммарное действующее напряжение учитываемых гармоник и их начальные фазы ψ_u

№ гармоник	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
u_1, В	65,44	39,73	17,48	9,16	8,51	7,85	4,97	3,78	2,71	1,42
Ψu, градус	63,50	216,80	41,80	130,50	180,70	-36,40	75,00	125,60	182,70	87,70

Таблица 3

Действующие значения учитываемых гармоник тока и начальные фазы ψ_i

№ гармоник	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
$_{i1}$, В	0,17	0,08	0,07	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Ψi, градус	165,80	-43,70	100,90	214,90	-76,20	45,00	154,00	240,90	-3,80	103,00

Таблица 4

Результаты, полученные при математическом моделировании электрического полупроводникового преобразователя

№ измерения	Iвх, А	Uвх, В	Id, А	Ud, В
1	0,17	60,05	16,80	51,00
2	0,15	57,35	15,45	52,01
3	0,16	55,68	15,67	50,30
4	0,17	56,03	16,45	49,34
5	0,17	59,99	15,40	50,63
6	0,16	59,01	16,58	50,34
7	0,14	57,65	14,45	48,93

Окончание табл. 4

№ измерения	Iвх, А	Uвх, В	Id, А	Ud, В
8	0,17	56,89	15,01	52,34
9	0,16	55,78	14,99	50,03
10	0,15	55,07	15,05	50,06
11	0,15	54,89	15,95	51,34
Среднее значение	0,16	57,13	15,62	50,57

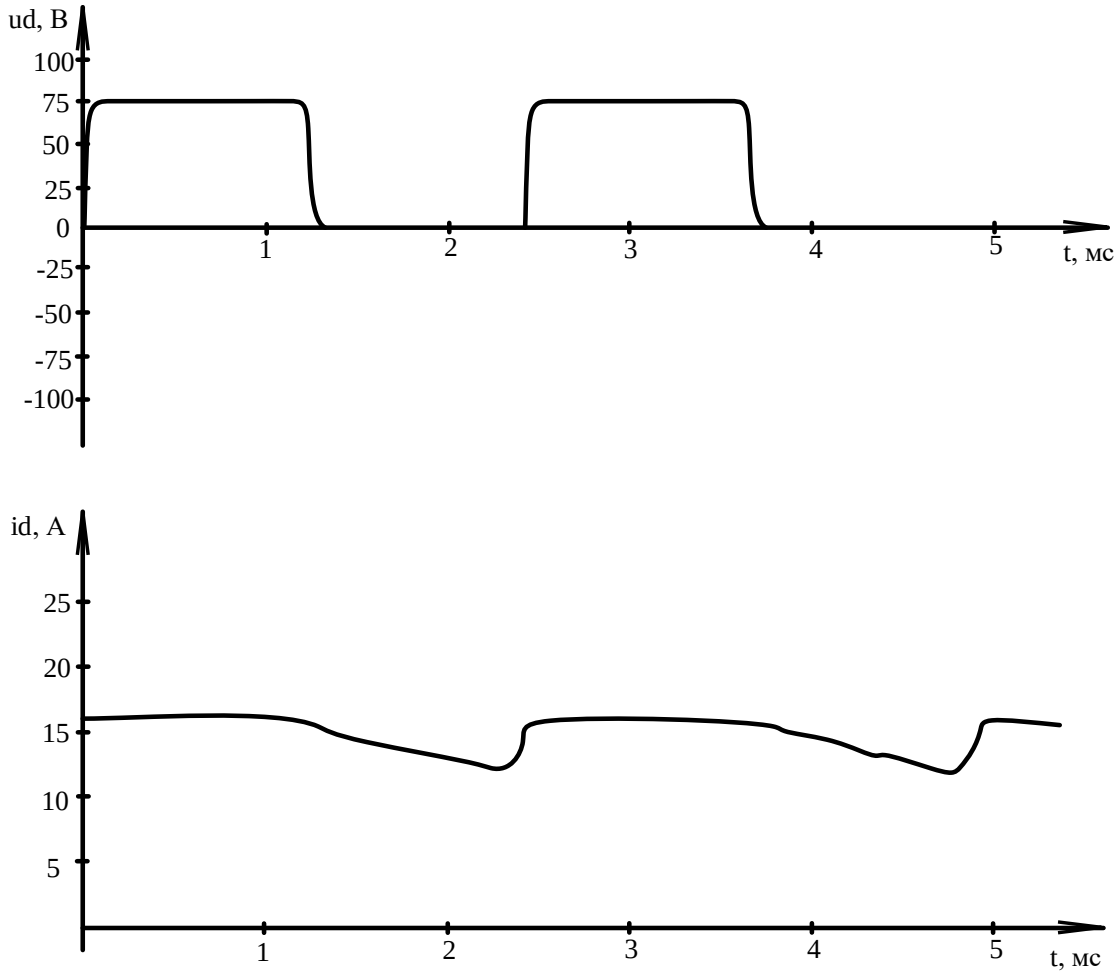


Рис. 5. Осциллограммы выпрямленного напряжения и тока, полученные с помощью электронного измерительного блока

Результаты, полученные при испытании электрического полупроводникового преобразователя на стенде, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты, полученные при испытании электрического полупроводникового преобразователя на стенде

№ измерения	Iвх, А	Uвх, В	Id, А	Ud, В
1	0,19	59,01	16,45	50,34
2	0,18	61,65	15,4	48,93
3	0,16	56,89	16,58	52,34
4	0,17	56,03	14,99	51,03
5	0,20	59,99	15,05	50,06
6	0,16	60,4	16,94	51,30
7	0,14	57,65	15,95	52,34
8	0,17	56,89	15,19	54,03
9	0,21	55,78	16,99	50,06
10	0,15	60,65	15,05	51,34
11	0,15	56,89	15,65	50,59
Среднее значение	0,17	58,35	15,84	51,12

Данные необходимые для проведения оценки адекватности результатов, полученных в ходе испытаний электрического полупроводникового преобразователя на стенде и математического моделирования [7-9] занесены в табл. 6.

Таблица 6

Сравнение параметров, полученных при эксперименте и математическом моделировании

Параметр	Испытания на стенде	Математическое моделирование	Относительная погрешность, %
Iвх, А	0,17	0,16	5,88
Uвх, В	58,35	57,13	2,09
$К_{З\ IGBT}$	10	10	-
Id, А	15,84	15,62	1,38
Ud, В	51,12	50,57	1,07

Относительная погрешность при оценке тока на входе преобразователя составила 5,88 %, напряжения на входе 2,09 %, ток в цепи двигателя 1,38 %, напряжение на двигателе 1,07 %, что не превышает допустимую погрешность (10 %) при проведении математического моделирования.

Таким образом, разработанная математическая модель испытательной станции тяговых электродвигателей является пригодной для проведения исследований электромагнитных процессов [10] в системе «Питающая сеть – Преобразователь мощности – Тяговый двигатель».

Библиографический список

1. Маевский, О. А. Энергетические характеристики вентильных преобразователей / О. А. Маевский. – Москва : Энергия, 1978. – 320 с. – Текст : непосредственный.

2. Зиновьев, Г. С. Прямые методы расчета энергетических показателей вентильных преобразователей / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск : Издательство Новосибирского государственного университета, 1990. – 219 с. – Текст : непосредственный.

3. Демирчан, К. С. Теоретические основы электротехники / К. С. Демирчан, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин. – Санкт-Петербург : Питер, 2009. – Том 2. – 431 с. – Текст : непосредственный.

4. Теоретические основы электротехники / под редакцией П. А. Ионкина. – Москва : Высшая школа, 1976. – Том 1. – 544 с. – Текст : непосредственный.

5. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – Москва : Высшая школа, 1996. – 638 с. – Текст : непосредственный.

6. Рябченок, Н. Л. Уточненный закон сохранения энергии / Н. Л. Рябченок, Т. Л. Алексеева, К. П. Якобчук, Л. А. Астраханцев. – 2015. – URL : http://www.rusnauka.com/42_PRNT_2015/Tecnic/5_202603.doc.htm. (дата обращения 17.10.2016). – Текст : электронный.

7. Алексеева, Т. Л. Энергосберегающее использование электрической энергии / Т. Л. Алексеева, Н. Л. Рябченок // Universum : Технические науки : электронный научный журнал. – 2016. – № 11(32). – URL : http://7universum.com/ru/tech/arhive/item/3865. – Текст : электронный.

8. Алексеева, Т. Л. Technology of Electric Power Efficient Use in Transport / Т. Л. Алексеева, Н. Л. Рябченок, Л. А. Астраханцев // Материалы International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. – SpringerLink, 2017. – P. 120–133. – Текст : непосредственный.

9. Воротилкин, А. В. Инновационные перспективы тягового электроподвижного состава / А. В. Воротилкин, Н. Л. Михальчук, Н. Л. Рябченок, Т. Л. Алексеева // Мир транспорта. – Москва, 2015. – Том 13. – № 6. – С. 62–76. – Текст : непосредственный.

10. Бурков, А. Т. Электроника и преобразовательная техника / А. Т. Бурков. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2015. – Том 2. – 307 с. – URL : http://e.lanbook.com/book/59179. – Текст : электронный.

В.В. Степанов
Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Россия

А.Л. Кожевников
Начальник технического отдела службы вагонного хозяйства Забайкальской дирекции инфраструктуры, г. Чита, Россия

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПУТЁМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОТОРМОЗОВ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА

В статье рассмотрен вопрос повышения безопасности движения на основе совершенствования системы автоматических тормозов грузовых вагонов. Предложен вариант модернизации тормозной магистрали грузового вагона, позволяющий в автоматическом режиме включать режим экстренного торможения в момент начала схода колесной пары. Изложен принцип действия предлагаемой конструкции, обоснованы критериальные признаки срабатывания.

Ключевые слова: безопасность движения, вагон, тормоза, колесная пара.

Повышение безопасности движения железнодорожного транспорта является важной задачей и требует помимо профилактических работ внедрение новых технических решений в этой области. Несмотря на значительные усилия, затрачиваемые на обеспечение безопасности движения, имеются довольно частые случаи аварий и крушения подвижного состава. Более 70% аварий и крушений подвижного состава связано со сходами вагонов с рельсов, из них порядка 90% приходится на сходы пустых и малозагруженных вагонов.

Следует отметить, что после каждого крушения из оборота исключаются до 10–18 вагонов. Вдобавок, в большинстве случаев после схода поезд не останавливается мгновенно и до полной остановки движется ещё до 1 км, вследствие чего разрушается колея, повреждается подвижной состав и грузы. Особенно опасными являются сходы вагонов в мостах и тоннелях. Отдельно необходимо сказать о транспортировке опасных грузов. Крушения и аварии, в которые попадают цистерны с опасными грузами, наблюдаются на всех железных дорогах мира и редко обходятся без последствий, связанных с человеческими жертвами, за-

грязнением окружающей среды и значительными материальными затратами по ликвидации экологических последствий аварий.

Как показывает практика, в большинстве случаев сход является лишь первым шагом на пути к крушению. Сошедший вагон может длительное время следовать в составе поезда, прежде чем произойдет крушение или аварию не обнаружат, поскольку тормозная магистраль в данный момент, как правило, не разрушена и система автотормозов поезда не приводит в действие режим экстренного торможения. Но даже при наилучшем исходе событий значительный участок пути оказывается поврежден.

Таких последствий схода с рельсов подвижного состава можно было бы избежать при наличии технических средств для раннего его обнаружения и применения экстренного торможения независимо от того, заметил машинист поезда сход или нет. Одним из наиболее перспективных технических средств являются механические устройства автоматического включения экстренного торможения, устанавливаемые на вагон и интегрированные в систему автотормозов поезда. Они не требуют электропитания, постоянного технического обслуживания и, в перспективе, могут стать типовым элементом вагона.

При разработке конструкции устройства включения автотормозов вагона при сходе колесной пары были выделены следующие ключевые моменты:

1) при сходе колесной пары остановка поезда произойдет только тогда, когда это заметит машинист или же в том случае, если нарушится целостность тормозной магистрали (разорвутся соединительные рукава);

2) сход колесной пары сопровождается нарушением геометрического положения оси относительно кузова вагона в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Задача: необходимо разработать механическое устройство, которое позволит в автоматическом режиме включать автоматические тормоза при нарушении геометрического положения элементов ходовой части относительно кузова вагона при сохранении целостности тормозной магистрали. Предлагаемое устройство должно быть простым в исполнении, с минимальным количеством элементов, не иметь дополнительных источников питания, а также работать в автоматическом режиме.

Необходимо определить критерий, по которому будет отслеживаться срабатывание устройства включения автотормозов. Сход тележки начинается со схода одной колесной пары. Вагон в этот момент тремя осями стоит в колее и кузов практически горизонтален. Именно этот момент предлагается взять за критериальный признак – рассогласование

положения колесной пары и кузова вагона в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Рассмотрим схему перекоса вагона при сходе колесной пары (см. Рисунок). При условно нормальных условиях эксплуатации вагона, тележка, кузов и КП условно параллельны друг другу. При набегании колес на рельс возникает перекос в тележке, который практически не влияет на перекос кузова. Во время схода одно колесо колесной пары может быть сошедшим, а второе еще находиться на рельсе, в свою очередь, вызывая перекос, как говорилось выше, происходит рассогласование положения колесной пары и кузова вагона в вертикальной плоскости.

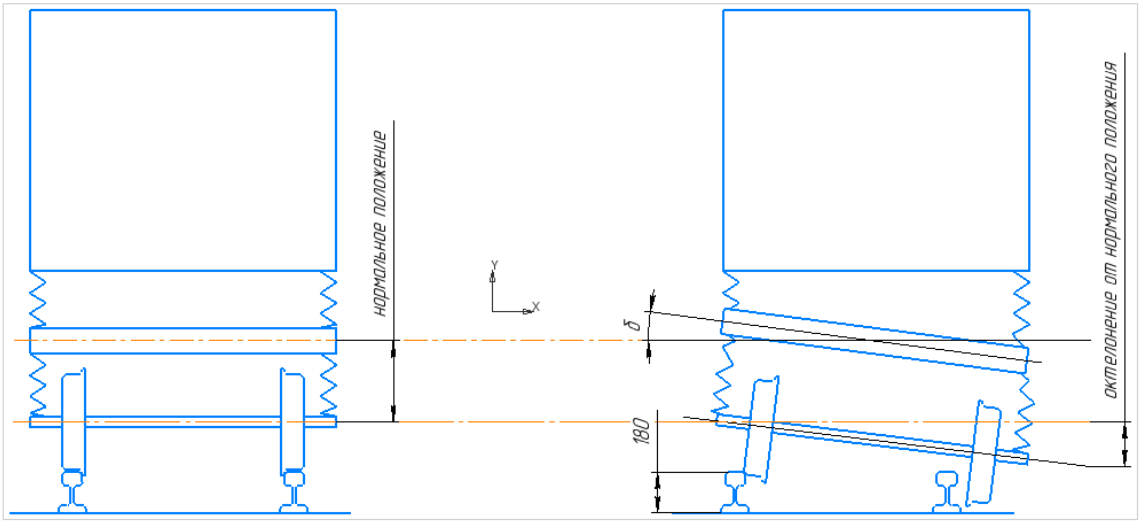


Рисунок. Расчетная схема перекоса тележки при сходе

Отметим, что устройство следует выполнять из легированного металла с добавлением хрома, олова или цинка, чтобы избежать коррозии. Случаи обледенения не исключаются, но в связи с особенностями работы устройства это не повлияет на его работоспособность.

На кафедре «Подвижной состав железных дорог» проведено исследование процесса схода колесной пары методом моделирования на виртуальных моделях. Полученные результаты показали возможность применения критериальных значений параметра рассогласования положения оси колёсной пары и оси надрессорной балки относительно оси вагона в вертикальной и горизонтальной плоскостях. При внедрении устройства необходимым шагом будет пересмотр технологии 12 позиционного осмотра вагонов путем ввода новой позиции.

Применение устройства автоматического включения автотормозов на грузовых вагонах позволит до минимума сократить время включения режима автоторможения поезда при сходе колесной пары при условии сохранения целостности тормозной магистрали, что позволит свести к минимуму последствия схода: разрушение элементов пути и контактной сети и, в целом, повысить безопасность движения.

Библиографический список

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

2. Шатохин, А. П. Повышение безопасности движения грузовых электровозов за счёт совершенствования порядка проверки целостности тормозной магистрали перед отправлением на участок следования / А. П. Шатохин, Н. В. Есин // Известия Транссиба. – 2017. – № 2 (30). – Текст : непосредственный.

3. Асадченко, В. Р. Автоматические тормоза подвижного состава : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / В. Р. Асадченко. – Москва : Маршрут, 2006. – 392 с. – Текст : непосредственный.

4. Афонин, Г. С. Устройство и эксплуатация тормозного оборудования подвижного состава : учебник для начального профессионального образования / Г. С. Афонин, В. Н. Барщенков, Н. В. Кондратьев. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с. – Текст : непосредственный.

И.А. Худоногов
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

АНАЛИЗ НАДЁЖНОСТИ И ПРИЧИНЫ ОТКАЗОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ВСЖД

Приведена классификация отказов и неисправностей тяговых электрических двигателей, основные причины их возникновения. Значительное влияние на работу тягового электродвигателя оказывают нагрузки, климатические условия работы, механические и электромагнитные воздействия, причем данные факторы оказывают на тяговые

электродвигатели комплексное воздействие. Полученная информация о его техническом состоянии позволит повысить ресурс одного из самых ответственных узлов электропоездов. Одним из самых значительных факторов, вызывающих ускоренное старение изоляции, является перегрев изоляции, который в конечном итоге приводит к существенному сокращению срока службы тягового электродвигателя. Анализ полученной информации определяет поиск новых методов, способов и технических средств, повышающих ресурс изоляции электродвигателей электропоездов переменного тока.

Ключевые слова: надёжность, отказ, изоляция, тяговая электрическая машина, сушка.

Всего в приписном парке Восточно-Сибирской железной дороги находится 247 секций, 1 прицепной вагон и 4 головных вагона: в том числе по сериям электропоездов, ЭР9п 104 секции, 1 прицепной и 2 головных вагона (28 поезда и 1 сборный), ЭР9м 15 секций и 2 головных вагона (3 поезда и 1 сборный), ЭР9т 48 секций (10 поездов), ЭД9т 30 секций (6 поездов), ЭД9мк 9 секций (2 поезда), ЭД9м 41 секций (11 поездов). Рельсовые автобусы РА1 – 2 единице и РА2 – 1 единица.

В табл. 1 представлены данные по году выпуска и депо приписки электропоезда, эксплуатируемые на Восточно-Сибирской железной дороге.

Согласно приведённой табл. 1 построим круговую диаграмму на рис. 1 для наглядного изображения процентного сегмента, который соответствует каждому депо (Вихоревка, Иркутск, Нижнеудинск, Улан-Удэ) от приписного парка моторвагонного подвижного состава (МВПС) Восточно-Сибирской железной дороги. [1,2,10].

Таблица 1

Количественное соотношение МВПС на Восточно-Сибирской железной дороге по депо приписки

Депо приписки	Серия		Всего	Средний срок службы секции
	Эр9п,т	Эд9м,мк,т		
	секций			лет
1	2	3	4	5
Вихоревка (ТЧ-9)	57	11	68	30,1
Иркутск (МВД-5)	52	69	121	10,5
Нижнеудинск (ТЧ-2)	16	-	16	36,5
Улан-Удэ (ТЧ-7)	42	-	42	33,2

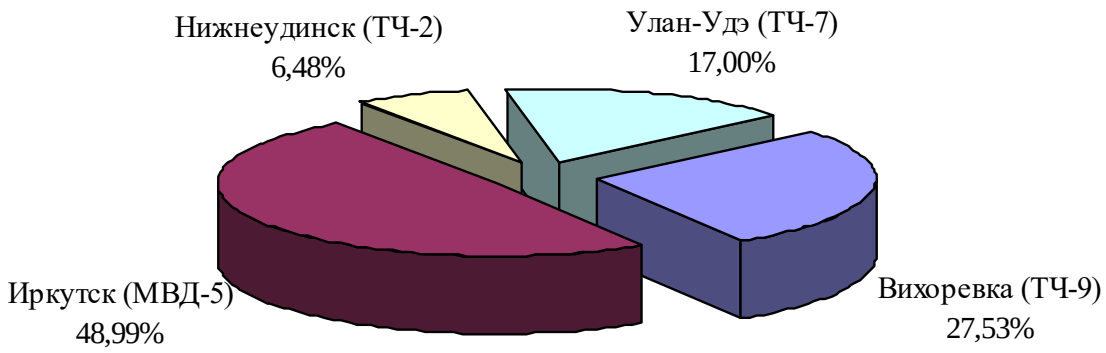


Рис. 1. Процентное соотношение МВПС соответствующего депо Восточно-Сибирской железной дороги

Статистика отказов и повреждений тяговых электрических машин (ТЭМ) в процессе эксплуатации электропоездов переменного тока серий ЭР9 п,т и ЭД9м,мк, высока и ещё больше обострилась в последнее время и составляет более половины от всех неисправностей по механическому оборудованию включающую в себя тележки, кузов и ударно-тяговые приборы. Конструкция механической части зависит от мощности и максимальной скорости движения; на нее оказывает влияние устройство железнодорожного пути. [3].

На электропоездах серии ЭР9п,т установлены тяговые электрические машины РТ-51 Д/М/У, на серии ЭД9м,мк,т установлены 1ДТ003. Конструктивно узлы электрических машин одинаковы и состоят из: остова, главных и добавочных полюсов, якоря, щёткодержателя с кронштейнами, подшипниковых щитов и имеют лишь незначительное отличие к классе нагревостойкости обмотки якоря: класс В у двигателя РТ-51 Д/М/У и класс F у двигателя 1ДТ003 [4].

Информация по статистике повреждений, связанных с пробоем повреждениями изоляции якорных обмоток двигателей РТ-51в/и и 1ДТ003, приведены в табл. 2 и показывает, что на них приходится 41,25 % неисправностей в 2019 году, 51,85% в 2020 году и 48,27 % в 2021 году. Анализ причин отказов изоляции ТЭМ повреждённого оборудования РТ-51в/и электропоездов ЭР9п,т, показывает, что самым неблагоприятным для тяговых электродвигателей в наибольшей степени происходит в осенне-зимний период. Данный сезонный период характеризуется значительными температурными перепадами, попаданию снега внутрь двигателя через элементы его конструкции и приводит резкому снижению сопротивления и диэлектрических свойств изоляции ТЭМ. Повысить эксплуатационную надёжность ТЭМ призваны различные методы и,

в частности, технологический процесс термической обработки изоляции электрических машин различными способами [5-6].

Таблица 2

Неисправности ТД электропоездов, эксплуатируемых на ж/д дорогах Восточного региона

Характер повреждения	Год			2019	2020	2021
	2019	2020	2021	m, %		
Межвитковое замыкание обмотки якоря. Корпусная изоляция якорных обмоток и полюсов катушек тяговых машин	33	14	14	41,25	51,85	48,27
Пробой изоляции и отгорание выводных проводов и межкатушечных соединений	1	1	1	1,25	3,7	3,44
Размотка проволочных, киперных и стеклобандажей	1	-	1	1,25	-	3,44
Повреждение коллекторов	-	1	1	-	3,7	3,44
Повреждение моторно-якорных подшипников	45	10	11	56,25	37,03	37,93
Прочие	-	-	-	-	-	-
Итого	80	27	29	100	100	100

Аналогичная статистика наблюдается и по отказам тяговых электродвигателей локомотивов. Для более детального изучения проблемы отказов ТД локомотивов проведён анализ статистических данных по элементам ТЭМ НБ-418 (рис. 2).

Анализируя данные анализа отказов элементов ТЭМ, видно, что на коллекторно-щёточный узел приходился 31 % отказов в 2019 году. [7-8].

По результатам данного анализа отказов элементов тягового двигателя можно сделать вывод о том, что отказы, приходящиеся на коллекторно-щёточный узел (КЩУ), в 2019 году и составляют 31 %. и от которого в значительной степени зависит качество его работы. Наиболее благоприятные условия контакта в КЩУ имеют место при температуре коллектора 70– 80 °С, наиболее тяжёлые при температуре 30–50 С и выше 90 °С.

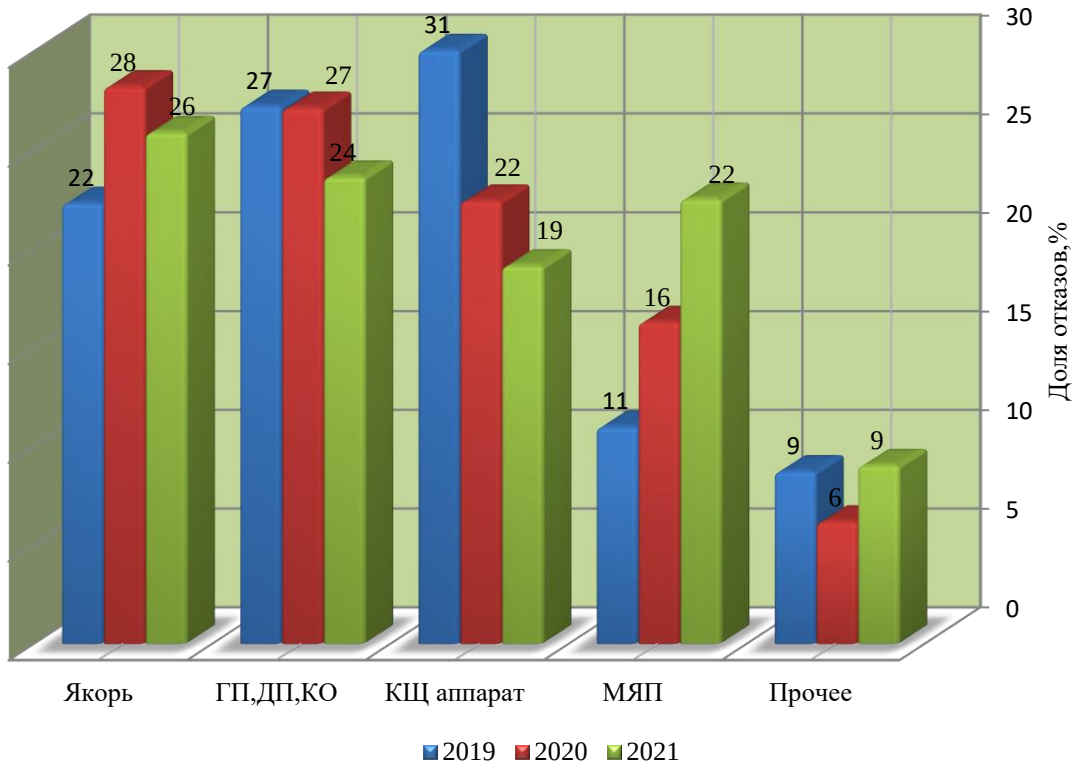


Рис. 2. Динамика отказов ТЭМ НБ-418 за 2019–2021 года

На якорь ТД приходится 22 % (2021 год) от всех отказов, в связи с пробоями и межвитковыми замыканиями обмотки якоря, низкой изоляции якорных и полюсных обмоток. Повреждения главных полюсов (ГП), вызванные межвитковыми замыканиями обмоток якоря и дополнительных полюсов (ДП), компенсационных обмоток (КО) свидетельствует о наличии факторов, отрицательно влияющих на электрическую прочность изоляции обмоток. Согласно статистики (рис. 1) отказы ГП, ДП, КО от общего количества составляют 27 %.

Основной причиной нагрева подшипника может служить его загрязнение, чрезмерное наличие или отсутствие смазки, нарушение сборки подшипникового узла, перекос при его установке и наличие избыточного трения в уплотнениях. Неисправности МЯП вызывают ослабление бандажа якоря, заклинивание колёсных пар.

Исследованиями, проводимыми на кафедре «Электроподвижного состава», учёными ИрГУПС было установлено, что наибольшее количество повреждений тяговых двигателей наблюдается при повышенной влажности воздуха в холодные месяцы года, а именно в осенне-зимне-

весенний период. В это время более 83 % машин выходят из строя и по причинам снижения диэлектрической прочности, что ведёт к снижению прочности и в итоге к пробою изоляции. [5-10].

Заключение: в настоящее время для сушки увлажнённой изоляции крупных электрических машин выпускают стационарные и передвижные электрокалориферные установки. Работающие по заданным алгоритмам управления стационарные и мобильные установки, позволяют правильно организовать процесс влагоудаления с целью оптимизации процесса сушки изоляции.

Библиографический список

1. Худоногов, И. А. Восстановление изоляционных свойств обмоток якоря тягового электродвигателя / И. А. Худоногов, В. Н. Иванов, Ш. К. Исмаилов, В. П. Смирнов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2006. – № 4-1(28). – С. 60–62. – Текст : непосредственный.

2. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices / E. Y. Puzina, M. Y. Cherniga, I. A. Khudonogov // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. – 2020. – С. 9271385. – Текст : непосредственный.

3. Пузина, Е. Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Якурим–Звездная ВСЖД / Е. Ю. Пузина, В. М. Перелыгин // Транспорт-2013 : труды международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 176–178. – Текст : непосредственный.

4. The use of 'technical rigidity' indices to assess climatic factors effects on power transformers reliability / I. A. Khudonogov, E. Y. Puzina, A. G. Tuigunova // Proceedings-2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2020. – 2020. – С. 136–140. – Текст : непосредственный.

5. Исмаилов, Ш. К. Энергосберегающие режимы регулирования мощности электровозов переменного тока с непрерывным контролем температуры электрооборудования / Ш. К. Исмаилов, В. П. Смирнов, О. В. Гателюк, В. В. Бублик // Вестник машиностроения. – 2009. – № 2. – С. 26–29. – Текст : непосредственный.

6. Попов, Ю. И. Исследование состояния тяговых электрических машин электровозов, эксплуатируемых в сложных природно-климатических условиях / Ю. И. Попов, А. С. Куренков, М. Д. Глущенко, В. П. Смирнов // Наука и техника транспорта. – 2015. – № 1. – С. 45–52. – Текст : непосредственный.

7. Коноваленко, Д. В. Надёжность электрических машин тягового подвижного состава / Д. В. Коноваленко, В. Н. Иванов, Д. А. Оленцевич, В. В. Сидоров, Е. М. Лыткина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 2. – С. 196–198. – Текст : непосредственный.

8. Худоногов, А. М. Анализ надёжности изоляции обмоток электрических машин тягового подвижного состава с учётом особенностей климатических условий внешней среды / А. М. Худоногов, Д. А. Оленцевич, В. В. Сидоров, Е. М. Лыткина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – № 2. – С. 232–236. – Текст : непосредственный.

9. Худоногов, А. М. Эксплуатация электровозов в условиях низких температур / А. М. Худоногов, Д. В. Коноваленко, Д. А. Оленцевич, В. В. Сидоров, Е. М. Лыткина, Н. А. Иванова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 2. – С. 201–204. – Текст : непосредственный.

10. Сидоров, В. В. Совершенствование управления системой вентиляции установок для сушки увлажнённой изоляции крупных электрических машин / В. В. Сидоров // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2010. – № 4 (28). – С. 230–235. – Текст : непосредственный.

И.А. Худоногов
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

С.В. Павлова
Улан-Удэнский колледж железнодорожного транспорта –
филиал ИрГУПС,
г. Улан-Удэ, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЛАКОВ И КОМПАУНДОВ ДЛЯ КАПСУЛИРОВАНИЯ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Работоспособность изоляции в значительной степени зависит от физико-механических свойств, применяемых полимерных материалов. В производстве электрических машин широкое применение имеют электроизоляционные лаки и компаунды. Выбор электроизоляционных лаков или компаундов для той или иной конструкции основывается

на знании технических требований для заданной конструкции и условий ее работы, на физических и электрических характеристиках лаков и компаундов, определяемых соответствующими ГОСТами и техническими условиями (ТУ).

Ключевые слова: компаунд, лак, капсулирование, лобовая часть обмотки, прочность.

В качестве ремонтных составов для восстановления электрической прочности лобовых частей асинхронных электродвигателей при проведении экспериментальных исследований с целью изучения свойств изоляции использовались лаки ФЛ-98, МЛ-92, КО-916 и компаунды ПК-11 и ПК 21. Были определены и получены характеристики вышеприведённых пропиточных материалов [1, 2].

Время жизни определяется как количество времени, которое требуется для того, чтобы начальная вязкость смеси удвоилась, или увеличилась в четыре раза для продуктов с меньшей вязкостью. Время, в течение которого состав смолы с введённым в него отвердителем может быть использован для пропитки изоляции, именуют «сроком жизни» компаунда.

Для определения вязкости компаундов определения вязкости компаундов и лаков использовались приборы, изображённые на рис. 1.

а)

б)

Рис. 1. Приборы для вязкости компаундов определения вязкости компаундов: а) вискозиметр ВЗ-246 ГОСТ 9070-25; б) сушильный шкаф SNOL-67/350

Вязкость компаундов замеряется при температуре 40 °С, а лаков при 20 °С с помощью вискозиметра ВЗ-346 с диаметром сопла 4 мм.

У вискозиметра поправочный коэффициент составляет согласно ГОСТу 8420-74 К=0.9 и вычисляется из соотношения [3].

$$К = t_1/t_2 \ , \qquad (1)$$

где, t_1 – время истечения контрольной жидкости из контрольного вискозиметра, с;

t_2 – время истечения контрольной жидкости из поверяемого вискозиметра, с.

$$t_1 = 0.185\ v + 10, \qquad (2)$$

v – кинематическая вязкость смеси 1 части трансформаторного масла и 2 частей авиационного масла МС-20.

v=196.2559 сСт; t_1=46.3073с; t_2=52с; К=0.8905=0,9.

Условную вязкость вычисляют по формуле

$$Х = t \cdot К, \qquad (3)$$

Норма условной вязкости для лаков составляет

КО-916 Х=(45-65)с;

МЛ-92 Х=(25-50)с;

ФЛ-98 Х=(35-60)с.

Для определения электрической прочности лаков и компаундов использовался аппарат для испытания электроизоляционных материалов АИИ-70 (рис. 2).

Рис. 2. Аппарат для испытания электроизоляционных материалов

Электрическая прочность лака МЛ-92 приведена в табл. 1.

Таблица 1

Электрическая прочность лака МЛ-92

№ опыта	Толщина пленки без лака, мм	Толщина пленки с лаком, мм	Толщина лаковой пленки, мм	Пробивное напряжение, кВ	Электрическая прочность, кВ/мм
1	0.41	0.53	0.06	5.0	83.3
2	0.41	0.53	0.06	4.5	75.0
3	0.42	0.53	0.055	4.5	81.8
4	0.42	0.53	0.055	4.5	81.8
5	0.42	0.53	0.055	4.5	81.8

Средняя электрическая прочность равна 80,7кВ/мм.

Сначала с помощью микрометра МК-25 (рис. 3) замеряется толщина чистой латунной пластины, затем окунаем пластинку в лак, выдерживаем на воздухе 15 минут. Помещаем пластину в сушильный шкаф SNOL.(КО-916 на 15 минут при температуре 200 градусов, МЛ-92 на 1 час при 105–110 градусов).

Второе окунание пластины выдерживаем 15 минут и опять помещаем в сушильный шкаф (КО-916 при 200 градусах не более 10 часов, МЛ-92 при 105–110 градусов не более 6 часов). Пластину вынимаем, остужаем и замеряем вторую толщину, вычисляем толщину одной лаковой плёнки, каждую точку пробиваем на аппарате для испытания электроизоляционных материалов и вычисляем среднюю электрическую прочность лаков.

Рис. 3. Микрометр МК-25

Норма электрической прочности для лаков составляет:

КО-916 – не менее 70кВ/мм;

МЛ-92 – не менее 65 кВ/мм;

ФЛ-98 – не менее 75 кВ/мм.

Определяем массовую долю не летучих.

Взвешиваем коробочку из алюминиевой фольги, наливаем в нее 2 гр. лака. Лак КО-916 подвергался процессу термообработки в сушильном шкафу в течении 30 минут при 200 °С и, а лак МЛ-92 – 2 часа при 105 °С, ФЛ-98 – 1,5 часа при 130°С.

Затем взвешивалась проба и вычислялась массовая доля не летучих веществ.

Вычисляем массовую долю не летучих:

$$X = m_2/m_1 * 100\%,, \qquad (4)$$

m_1 – масса лака до сушки;

m_2 – масса лака после сушки.

Результаты измерений массы лаков до и после сушки и расчет массовой доли не летучих веществ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений массы лаков КО-916, МЛ-92, ФЛ-98

Тип лака	масса лака до сушки, m_1 гр	масса лака после сушки, m_2гр	Массовая доля не летучих,%,
КО-916	1.9466	1.0239	67
МЛ-92	1.9383	1.0301	54
ФЛ-98	1.9364	1.0256	53

В качестве разбавителя лаков используется ксилол.

Компаунды ПК-11 И ПК-21.

Компаунд ПК-21 внешний вид составов представляет однородную прозрачную жидкость без механических включений.

Вязкость при температуре 40 С.

X_1=27 с ; X_2=27 с ; $X_{ср}$=27 с.

С учётом поправочного коэффициента вязкость составляет $X=X_{ср}$ *К=27*0.9=24.3с.

Период, в течение которого компаунд переходит из жидкого состояния в твёрдое при 160 С – 8 часов.

Электрическая прочность компаунда ПК-11 приведена в табл. 3.

Таблица 3

Электрическая прочность компаунда ПК-11

№ опыта	Толщина пленки, мм	Пробивное напряжение, кВ	Электрическая прочность, кВ/мм
1	1.03	28.5	27.6
2	1.07	28.1	26.3
3	0.09	28	25.1
4	1.11	27.8	25.04
5	1.05	27.7	26.4

Средняя электрическая прочность при толщине плёнки 28/ 1.07= 26.2 кВ/мм.

Компаунд ПК-11 представляет собой однородную прозрачную жидкость без механических включений с показателем вязкости при 40°С:

X_1=29 с; X_2=29 с; $X_{ср}$=29 с.

$X= X_{ср} *К=29*0.9=26.1$с.

Период, в течение которого компаунд переходит из жидкого состояния в твёрдое, при 160 С – 8 часов.

Параметры электрической прочности компаунда ПК-11 приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры электрической прочности компаунда ПК-11

№ опыта	Толщина пленки, мм	Пробивное напряжение, кВ	Электрическая прочность, кВ/мм
1	1.19	32.5	27.3
2	1.23	32.1	26.09
3	1.25	32	25.6
4	1.22	31.8	26.06
5	1.20	31.7	26.4

Визуальный контроль и наличие видимых механических включений определяем визуально. Состав компаунда однородный, механические включения на вид отсутствуют.

Измерение вязкости компаунда, пропорциональной времени вытекания компаунда в секундах проводились согласно штатной методике

путём истекания компаунда из отверстия 4мм в объёме 10 г из трубки при давлении 10 кПа. Замер времени истечения состава в секундах производился электросекундомером и рассчитывался по формулам.

Среднее пробивное напряжение компаунда ПК-11 при средней толщине плёнки 32кВ/ 1.218мм= 26.3 кВ/мм.

Установленный в сушильном шкафу стакан с компаундом нагревали до температуры 40±0,5 °С. Период, в течение которого компаунд переходит из жидкого состояния в твёрдое.

Период, в течение которого компаунд переходит из жидкого состояния в твёрдое.

Горячее отверждение компаунда производилось в электрической печи в форме из алюминиевой фольги, при 100–110°С в течение 8 т часов. Компаунд вынимался после полной полимеризации и наборе твёрдости, после чего остуженный диск подвергался пробою на аппарате для испытания электроизоляционных материалов АИИ-70 [4,5]. Образец испытываемого образца помещался в чашу, заполненную трансформаторным маслом заполненную в межэлектродное пространство с. После десятиминутного отстаивания масла подавали напряжение и фиксировалось место и напряжение пробоя и рассчитывалась электрическая прочность.

Заключение: для пропитки обмоток ЭМ применяют два вида пропиточных составов, лаки на основе растворителей и составы без растворителей компаунды. Для получения надёжной в работе обмотки необходимо на этапе конструирования изоляционных системы учитывать диэлектрические изоляционные характеристики пропиточного составов.

Библиографический список

1. Худоногов, И. А. Восстановление изоляционных свойств обмоток якоря тягового электродвигателя / И. А. Худоногов, В. Н. Иванов, Ш. К. Исмаилов, В. П. Смирнов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2006. – № 4-1(28). – С. 60–62. – Текст : непосредственный.

2. Modeling turn insulation thermal aging process for traction substation transformer / I. A. Khudonogov, E. Y. Puzina, A. G.Tuigunova // Proceedings-2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. – 2020. – С. 9112021. – Текст : непосредственный.

3. Пузина, Е. Ю. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций / Е. Ю. Пузина, А. Г. Туйгунова, И. А. Худоногов. –

Иркутск : Издательство ИрГУПС, 2020. – 184 с. – Текст : непосредственный.

4. Пузина, Е. Ю. Анализ времени наработки до отказа измерительных трансформаторов / Е. Ю. Пузина, В. А. Алексеенко // Транспорт-2010. – Часть 2. – 2010. – С. 307–309. – Текст : непосредственный.

5. Пузина, Е. Ю. Регрессионный анализ повреждаемости измерительных трансформаторов / Е. Ю. Пузина, В. А. Алексеенко // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. – Иркутск, 2010. – С. 421–423. – Текст : непосредственный.

6. Ларченко, А. В. Пуск тягового электродвигателя – универсальное тестовое воздействие / А. В. Ларченко, В. Г. Литвинцев, С. З. Овсейчик // Транспорт Урала. – 2022. – № 1(72). – С. 86–92. – Текст : непосредственный.

7. Овсейчик, С. З. Моделирование взаимодействия тягового электродвигателя электровоза с элементами силовых цепей / С. З. Овсейчик // ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – 2018. – С. 26–30. – Текст : непосредственный.

Д.А. Чернигов
ВЧДЭ-6,
г. Могоча, Россия

Е.А. Рожкова
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТОРМОЗОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА (АСДТ 5К) НА ПТО ЗАБАЙКАЛЬСК

В работе рассматривается вопрос внедрения АСДТ-5К на станции Забайкальск. Для этого проанализирована работа ПТО Забайкальск, рассмотрена технология работы станции. Предложен и экономически обоснован вариант внедрения автоматизированной системы диагностики тормозов.

Ключевые слова: грузовая станция, полное опробование тормозов, автоматическая система диагностики тормозов, пункт технического обслуживания.

Станция Забайкальск по характеру работы является грузовой, межгосударственной передаточной и отнесена к внеклассной. На станции производится расформирование и формирование поездов; работа с пассажирскими поездами; погрузка и выгрузка грузов; перегруз грузов из вагонов колеи 1435 мм в вагоны колеи 1520 мм; взвешивание вагонов; технический и коммерческий осмотр вагонов; подготовка вагонов под погрузку [1].

В рамках соглашения о стратегическом сотрудничестве российских и китайских железных дорог определено направление по развитию международных транспортных коридоров для беспрепятственного пропуска перспективных грузопотоков [2,3]. Учитывающие существующие факторы развития политических и внешнеэкономических отношений между Российской Федерацией и КНР, в период 2020–2025 гг. ожидается увеличение объемов перевозок через пограничную станцию Забайкальск.

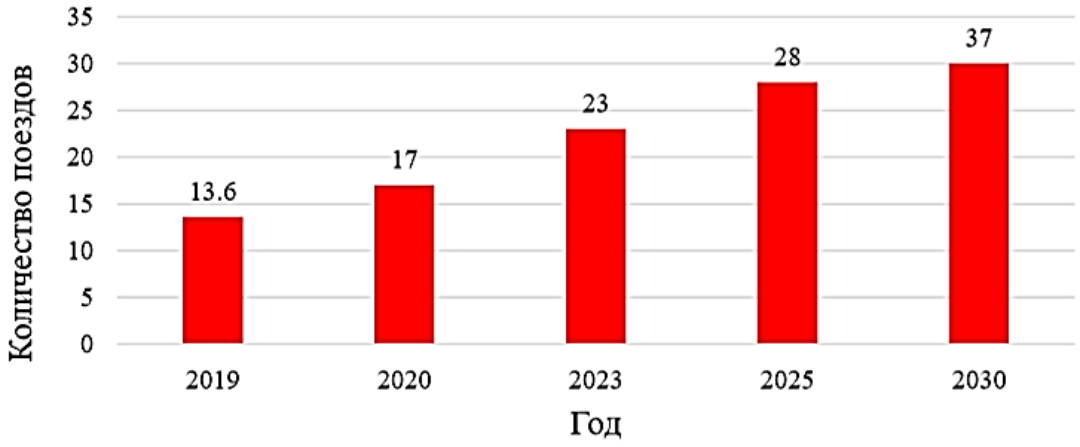


Рис. 1. Размеры движения экспортных поездов

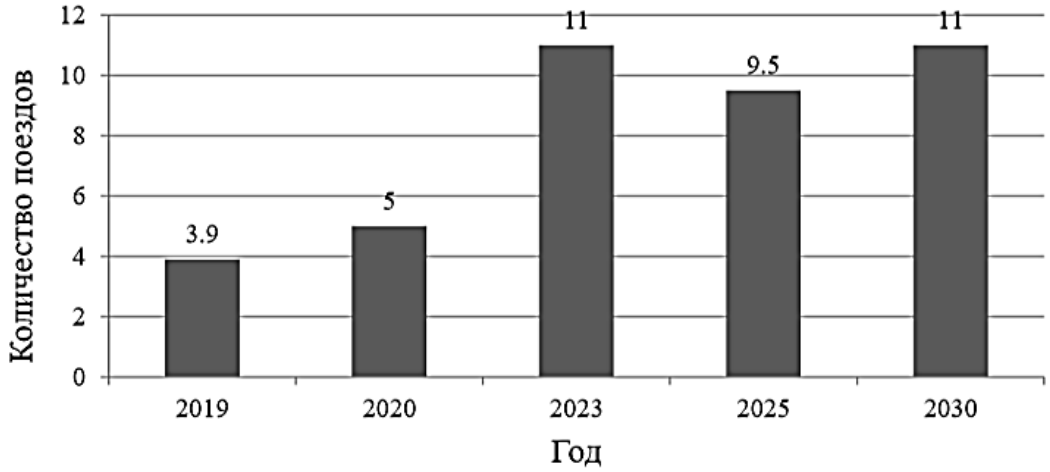


Рис. 2. Размеры движения импортных поездов

Таким образом, прогнозируемое повышение пропускной способности требует новых технических решений организации работы станции. В связи с этим для обеспечения переработки увеличивающегося грузопотока предлагается рассмотреть вариант внедрения АСДТ в парке «А» и парке «ПП», что позволит обрабатывать больше поездов за равные промежутки времени и как следствие повысить пропускную способность станции до потребного уровня.

В связи с планируемым увеличением количества передаваемых поездов, следующих в КНР и принимаемых поездов в обратном направлении до 25 пар в сутки через станцию Забайкальск, пропускная способность станции не позволяет осуществлять отправление требуемого количества поездов с парка «ПП», в состав которого входит 5 приемоотправочных путей, оборудованных УЗОТ-РМ (пути №3,4,6,8,10).

За 2021 г. процент использования стационарной установки УЗОТ-РМ, расположенной в парке «ПП» станции Забайкальск составил 88,1% от числа всех поездов своего формирования, отправленных со станции, что является нарушением требований телеграфного указания ЦЗ-ЦДИ Г.В. Верховых от 27 января 2018 года № исх-1592. Причиной неиспользования установки УЗОТ-РМ в объёме 100%, является отправление поездов с парка «А» станции Забайкальск.

Пересмотренной технологией работы станции Забайкальск, предусмотрено формирование и отправление нечётных контейнерных поездов своего формирования с приемоотправочных путей №34, 35, 36 парка «А», которые позволяют осуществлять формирование контейнерных поездов, условной длиной 71-82 условных единиц.

В настоящее время с парка «А» ежесуточно отправляется до 7 контейнерных поездов своего формирования, при этом:

– среднее время ожидания локомотива составляет до 240 минут;

– полное опробование тормозов от локомотива составляет 42 минуты с учётом времени на объединение и зарядку тормозной сети состава 12 минут;

– таким образом, общее время от объединения локомотива до готовности к отправлению составляет 42 минуты.

С целью повышения пропускной и провозной способности станции Забайкальск, обеспечения переработки увеличивающегося контейнерного поездопотока из КНР (до 10 контейнерных поездов сутки), использование автоматизированной системы диагностики тормозов грузовых вагонов (АСДТ-5К) с установкой в парке «А», что позволит сократить время от объединения локомотива до готовности к отправлению

до 19 минут, в том числе 5 минут на объединение локомотива и 14 минут на сокращенное опробование тормозов.

На основании вышеизложенного, считается целесообразным внедрение автоматизированной системы диагностики тормозов грузовых вагонов (АСДТ-5К), что позволит сократить время от подхода локомотива до отправления на 23 минуты на 1 поезд, а также исключить нарушение требований телеграфного указания ЦЗ-ЦДИ Г.В. Верховых от 27 января 2018 года № исх-1592 в части отправления поездов своего формирования без опробования от УЗОТ-РМ [4,5].

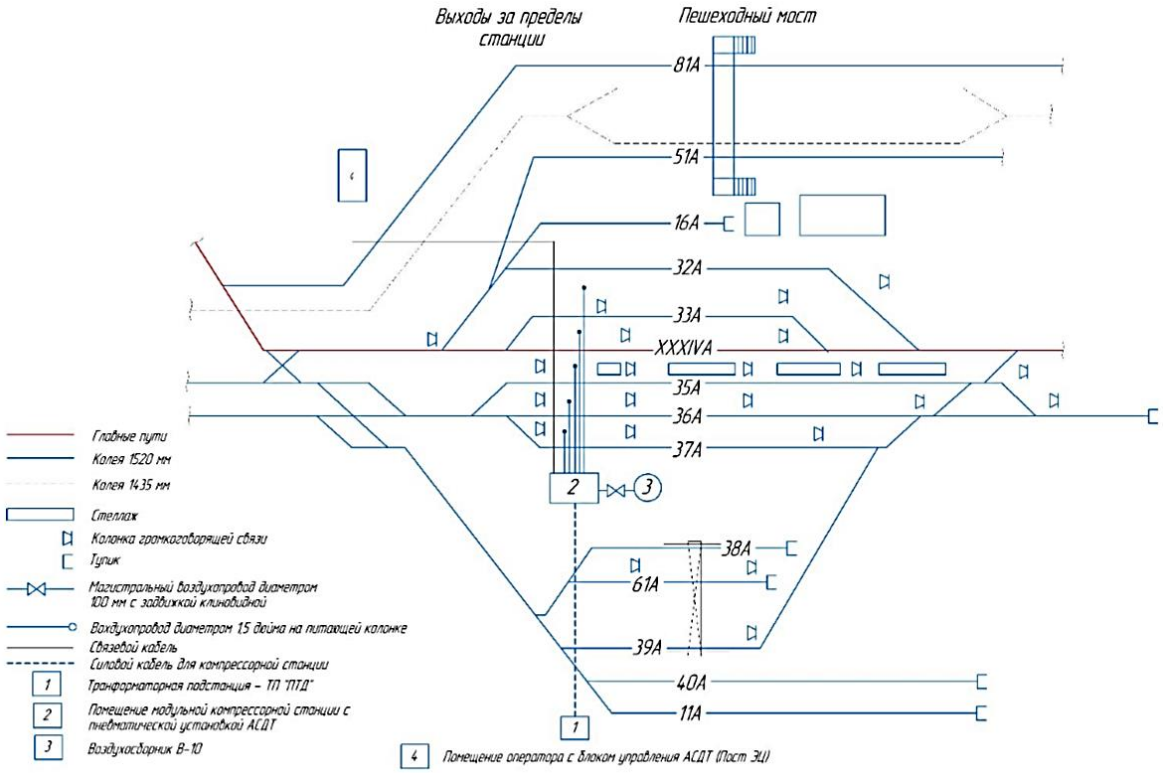


Рис. 3. Размещение АСДТ в парке «А»

План развития станции Забайкальск до 2030 года, предусматривает реконструкцию многих парков, в том числе парка «ПП». Для повышения пропускной способности станции предлагается построить 4 дополнительных приемоотправочных пути.

С учётом строительства 4-х дополнительных приемоотправочных путей потребуется устройство 8 напольных питательных колонок. Соответственно, для обеспечения возможности опробования тормозов на всех 9 приемоотправочных путях необходимо предусмотреть установку двух автоматизированных систем диагностики тормозов грузовых со-

ставов АСДТ-5К, так как 1 установка предусматривает эксплуатацию не более 5 колонок, а имеющееся устройство зарядки и опробования тормозов УЗОТ-РМ 2010 года выпуска отработало нормативный срок службы (10 лет).

Размещение пневматических установок АСДТ-5К следует предусмотреть в восточной горловине парка «ПП» на перенесенной производственной площадке УЗОТ-РМ в отапливаемых помещениях модульного типа, прокладкой питательных магистралей от пневматических установок АСДТ-5К к напольным питательным колонкам в междупутьях приёмоотправочных путей парка «ПП» (в т.ч. и четырех новых). При выборе места площадки необходимо учесть требования по эксплуатации АСДТ-5К в части предельной длины сигнально-блокировочного кабеля от пневматической установки до блока управления АСДТ-5К не более 500 метров и расстояния от пневматической установки до места установки питающих колонок не более 200 метров.

В связи с низкой производительностью компрессоров компрессорной ШЧ-13 обеспечение сжатым воздухом предлагаем предусмотреть от модульной компрессорной станции производительностью не ниже 15 $м^3$ с установкой между модульной компрессорной станцией и пневматическими установками АСДТ-5К имеющегося воздухосборника В-10. Производственную площадку с помещениями пневматических установок АСДТ-5К, воздухосборником и модульной компрессорной станции оградить забором высотой 2 м.

Блоки управления АСДТ-5К с персональными компьютерами разместить в имеющемся помещении оператора ПТО здания «технической конторы» № 6 парка «ПП».

Основное электроснабжение модульной компрессорной станции, помещений пневматических установок АСДТ-5К определить проектом.

Предусмотреть перенос модульных пунктов обогрева (2 ед.) на обочину вновь построенного крайнего железнодорожного пути, подключение к электроснабжению, громкоговорящей связи.

В данный момент при существующей технологии парк может обрабатывать 5 нечетных поездов своего формирования, с использованием установки УЗОТ-РМ.

Предлагаемые действия, позволят за тот же промежуток времени обрабатывать на 80% больше поездов (9 поездов за 50 минут). Учитывая достоинства АСДТ-5К в части диагностирования тормозной магистрали и обнаружения неисправностей, мы можем прогнозировать повышение производительности труда и перерабатывающей способности парка и станции в целом.

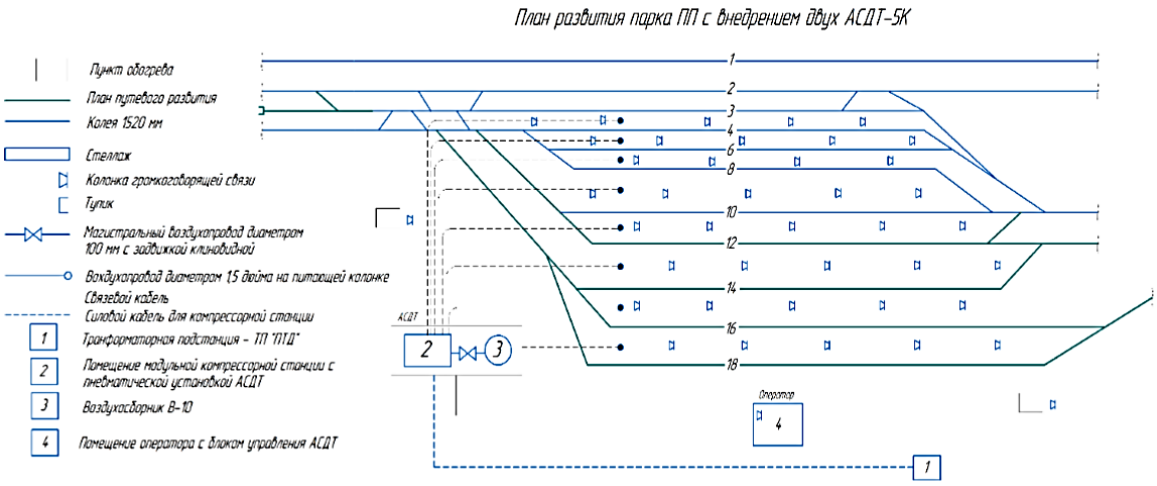


Рис. 4. Размещение АСДТ-5К в парке «ПП» с перспективой путевого развития

№	Наименование операции	Вр. на оп.	Время в минутах 5 10 15 20 25	Исполнитель
1	Централизованное ограждение	0,4		ДСП, Оператор ПТО
2	Продувка рукава колонки, для удаление конденсата, объединение рукава колонки и соед. рукава ТМ	1		Осм-рем
3	Зарядка ТМ	10		Оператор ПТО
4	Замер зарядного давления	1		Оператор, осм-рем
5	Проверка целостности тормозной магистрали	0,2		Осм-рем
6 7	Производство ступени торможения, с последующим отпуском и замером времени отпуска у 2-ух хвостовых вагонов	1,8		Оператор, осм-рем
8	Стабилизация давления, проверка плотности ТМ	4		Оператор ПТО
9	Выдержка тормозов	2		Осм-рем
10	Проверка действия автотормозов на торможение	6		Осм-рем
11	Проверка плотности тормозной магистрали	3		Оператор ПТО
12	Проверка действия автотормозов на отпуск	6		Осм/рем
13	Заполненение справки об обеспечнии поезда тормозами	1		Осм/рем
14	Снятие централизованного ограждения	0,4		ДСП, Оператор ПТО
15	ОБЩЕЕ ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛНОГО ОПРОБОВАНИЯ	19		

Активация

Рис. 5. Технологический график полного опробования автотормозов от АСДТ-5К

В ходе пересмотра технологии полного опробования автотормозов, составлен технологический график полного опробования автотормозов от АСДТ-5К, для грузовых составов длиной 71 условная единица, представленный на рис. 5.

Использование автоматизированной системы диагностики тормозов грузовых вагонов (АСДТ-5К) позволит сократить время от объединения локомотива до готовности к отправлению до 19 минут, в том числе 5 минут на объединение локомотива и 14 минут на сокращенное опробование тормозов в парке «А». В парке «ПП» внедрение АСДТ-5К позволяет положительно повлиять на безопасность движения, в связи с окончанием нормативного срока эксплуатации АСДТ-5К.

На основании вышеизложенного, целесообразно внедрение автоматизированной системы диагностики тормозов грузовых вагонов (АСДТ-5К), что позволит сократить время от подхода локомотива до отправления на 23 минуты на 1 поезд. Предложенные действия помогут увеличить пропускную способность станции Забайкальск с 16 до 32 пар поездов в сутки к 2025 году. Годовой экономический эффект от внедрения установки составит 6443686,99 руб., а срок окупаемости 6,9 лет.

Библиографический список

1. Технологическая инструкция, ТИ ПТО Забайкальск. – Забайкальск, 2022. – 61 с. – Текст : непосредственный.

2. Пономарев, В. М. Математическое моделирование отказов ходовых частей подвижного состава как основа безаварийной работы железнодорожного транспорта / В. М. Пономарев, В. А. Рудаков // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 1. – С. 67–70. – Текст : непосредственный.

3. Рожкова, Е. А. Оценка эффективности работы тормозного оборудования инновационных грузовых вагонов / Е. А. Рожкова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 3 (100). – С. 46–53. – Текст : непосредственный.

4. Автоматизированная система диагностики тормозов грузовых составов «АСДТ» : руководство по эксплуатации, АЭК78.00.000 РЭ / О. В. Пальчик. – Рязань, 2018. – Текст : непосредственный.

5. Асадченко, В. Р. Автоматические тормоза подвижного состава : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / В. Р. Асадченко. – Москва : Маршрут, 2017. – 392 с. – Текст : непосредственный.

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

Е.В. Андреева, Н.С. Логинов
Читинский техникум железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

ПРИЧИНА ОБРАЗОВАНИЯ НАЛЕДИ НА ИСКУССТВЕННОМ СООРУЖЕНИИ СТАНЦИЯ ХУШЕНГА 5971КМ ПК 7–6

В статье рассматривается уникальность искусственного сооружения на участке пути Иркутск–Чита, 5971 км, ПК 7- 6 +35м станция Хушенга. Причина образования наледи на проезжей части в период наступления низких температур.

Ключевые слова: искусственное сооружение, водные потоки, понижение температуры, мост, наледь, станция, габаритные ворота.

Искусственные сооружения возводятся на пересечениях железных дорог с реками, ущельями, другими дорогами, с обвалоопасными или лавиноопасными участками. К ним относят мосты, виадуки, эстакады, путепроводы, водопропускные трубы, фильтрующие насыпи, лотки, дюкеры, тоннели, подпорные стенки, галереи, дамбы. Мосты устраиваются при пересечении железных дорог с реками, каналами, ручьями, ущельями, оврагами. Они бывают каменные, металлические, бетонные, железобетонные и деревянные.

Железнодорожный мост – уникальная сложная конструкция, которая необходима для того, чтобы железная дорога могла преодолевать на своем пути различные препятствия. Представляет огромную нагрузку в процессе эксплуатации, поэтому к их проектированию и строительству предъявляют особые требования. В соответствии с официальной классификацией все железнодорожные мосты делятся на малые – менее 25 метров, средние – от 25 до 100 метров, большие – от 100 до 500 метров и внеклассные – более 500 метров. По типам конструкции железнодорожные мосты делятся на балочные, арочные, рамные, висячие и вантовые.

Основные материалы для строительства железнодорожных мостов – сталь или железобетон, которые отличаются прочностью и долговечностью. Большая часть мостов, на которых предполагается укладка железной дороги, построены из металла. Сталь мало весит и дает больше воз-

можностей механизации строительных работ. Однако в процессе эксплуатации металл нуждается в особом уходе, так как подвержен коррозии. Железобетон – более износостойкий материал, но он гораздо тяжелее металла, поэтому требуется дополнительная физическая затрата при строительстве.

Железнодорожные мосты также сопровождаются строительством вспомогательных сооружений. К ним относятся опоры, подмостики, накаточные пути, которые необходимы для безопасной эксплуатации железнодорожного моста. А самое важное – в проектировании и строительстве любого железнодорожного моста учитывать перспективы развития и увеличения грузоперевозок и закладывать их в грузоподъёмность и износостойкость конструкции, ведь средний срок службы железнодорожного моста составляет 100 лет. Мост состоит из опор и пролетных строений балочной, арочной или висячей конструкции. Они могут быть разводными или подвешенными для пропуска судов на крупных реках. Береговые опоры моста называются устоями, а промежуточные – быками. Нижняя часть устоев, находящихся в земле, называется фундаментом, а верхняя часть, на которую устанавливаются пролетные строения, – исходной частью. Конец насыпи вокруг устоев моста называется конусами и обычно тщательно укрепляется от размыва. В настоящее время железнодорожные мосты принято классифицировать по нескольким основным характеристикам.

На участке Иркутск–Чита, 5971 км, ПК 7- 6 +35м Станция Хушенга находится однопролетный мост, его полная длина составляет 25,1 м. Отверстие моста 11,9 м, расстояние между шкафными стенками устоев 14,5 м, тип пересекаемого препятствия – малый водоток, препятствие – р. Шулета. Проект железобетонного моста был создан в 1904 году. В этом же году был введен в эксплуатацию. Последний год реконструкции был в 2006. Во время реконструкции металлическая ферма моста была заменена на железобетонный мост со съездом по балласту.

Река Шулета, которая протекает под мостом, имеет очень маленький водоток. В засушливый летний период это маленький ручей, не имеющий никакого значения для проезда автотранспорта под мостом (рис. 1,2 (фотография) – летний период).

В период весенних паводков и ливневых дождей искусственное сооружение беспрепятственно справляется с пропуском воды. Однако с наступлением осенних холодов на участках полосы отвода и под мостом образуется наледь.

Пик этой наледи высотой до 3 метров приходится на конец февраля–начало марта месяца. В этот период и период полного оттаивания ав-

томобильный транспорт под мостом проезжать не может (рис. 3,4 (фотография) – зимний период).

Рис. 1. Проезжая часть под габаритными воротами и мостом в сентябре 2021 года

Рис. 2. Проезжая часть под габаритными воротами и мостом в сентябре 2021 года, чётная сторона

Рис. 3. Проезжая часть под габаритными воротами и мостом в январе 2022 года

Рис. 4. Проезжая часть под габаритными воротами и мостом в январе 2022 года, чётная сторона

Причины возникновения наледи до сих пор изучается силами студентов ЧТЖТ. Одной из причин считается углубление проезжей части под мостом. Уширение и углубление проезжей части было обусловлено рядом причин. Дело в том, что рядом с мостом на 9 пикете 5971 км находится не охраняемый переезд. При многочисленных осмотрах руководителями структурных подразделений стоял вопрос о демонтаже переезда ввиду того, что рядом есть искусственное сооружение, под которым осуществляется переезд автомобильного транспорта. Однако по габариту (высоте) не все автомобили могли проехать под мостом.

Поэтому администрацией местного поселения было принято решение срезать небольшой слой. Это было сделано без изучения гидравлической обстановки, тем самым была вскрыта внутренняя водная жила, которая впоследствии по понижению температуры замерзает снаружи, но не промерзает внутри земляного покрова, тем самым вызывая образование наледи.

С сентября 2022 года по март будут производиться промеры заполнения ледовым покровом и дальнейшее изучение образования наледи с учетом понижения температуры.

Библиографический список

1. Железнодорожный путь : учебник / под редакцией Е. С. Ашпиза. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2021. – 576 с. – Текст : электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. – URL : http://umczdt.ru/books/1193/265301/ (дата обращения: 08.10.22 г). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

2. Крейнис, З. Л. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути : учебник / З. Л. Крейнис, Н. Е. Селезнева. – Москва : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 568 с. – ISBN 978-5-89035-681-9. – Текст : непосредственный.

3. Крейнис, З. Л. Справочник дорожного мастера и бригадира пути : в 2 частях. Часть 1. Система ведения путевого хозяйства. Конструкции и устройство железнодорожного пути / З. Л. Крейнис. – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. – 865 с. – URL : http://umczdt.ru/books/1202/227471/ – Загл. с экрана. – Текст : электронный.

В.В. Атапин, А.С. Нечушкин, И.Г. Табаков
Самарский государственный университет путей сообщения, г. Самара, Россия

АНАЛИЗ ДЕГРАДАЦИИ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с деградацией рельсовой колеи. Приводятся данные, описывающие состояние рельсовой колеи на основе изменения геометрических параметров: ширина рельсовой колеи, рихтовка, просадка, уровень. Представлены графики изменения данных параметров на длительном временном интервале. На основе данных графиков сделаны выводы о состоянии геометрии рельсовой колеи в различные времена года и происходящих деградационных процессах. Получены значения средней частоты отступлений на анализируемом участке. Сделаны выводы о параметрах, которые оказывают наибольшее влияние на расстройство геометрии рельсовой колеи.

Ключевые слова: геометрия рельсовой колеи, деградационные процессы, температура, безопасность движения, отступления, статистические данные, диагностика.

Введение. Железнодорожный путь – сложный комплекс линейных и сосредоточенных инженерных сооружений и обустройств, расположенных в полосе отвода, образующих дорогу. Основная задача текущего содержания железнодорожного пути заключается в обеспечении безопасного движения поездов с установленными скоростями, где определяющую роль играет состояние геометрии рельсовой колеи. Организация работ по своевременному устранению выявленных неисправностей обеспечивает безопасность движения, а выполнение планово-предупредительных работ по регулировке основных параметров геометрии рельсовой колеи сокращают вероятность появления данных неисправностей.

Анализ деградационных процессов рельсовой колеи на основе статистических данных

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования методов и средств организации и планирования процесса содержания рельсовой колеи [1].

Рельсовая колея – определяет стабильное положение пути в профиле и плане, обеспечивая контакт с гребнями колес.

При воздействии динамических факторов в пути возникают определенные неисправности. При планировании и производстве текущих работ по содержанию железнодорожного пути необходимо выявлять причины возникновения неисправностей и ликвидировать их [2]. Для выявления данных неисправностей существует целая система контроля состояния объектов железнодорожной инфраструктуры.

Проверки и осмотры пути назначаются с целью:

1. Выявления неисправностей в рельсовой колее, угрожающих перевозочному процессу и безопасности движения поездов.

2. Планирования работ по техническому обслуживанию железнодорожного пути и оценке качества выполненных работ по текущему содержанию.

С целью анализа развития деградационных процессов рельсовой колеи было выбрано 30 километров в рамках одной дистанции пути.

При анализе данных, полученных с путеизмерительных средств, учитывались отступления II, III и IV степени. Необходимо учитывать, что для оценки состояния рельсовой колеи до февраля 2020 г. применялась инструкция ЦП-515 [3] со всеми её изменениями. Затем на сети ОАО «РЖД» для оценки состояния рельсовой колеи стала применяться «Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 28 февраля 2020 г. №436/р [4].

На рис. 1 представлена общая динамика развития деградационных процессов рельсовой колеи за 6 лет.

Рис. 1. Общая динамика развития деградационных процессов

По полученной динамике деградационных процессов (см. рис. 1) видно, что в осенне-зимний период происходит заметный спад частоты отступлений, а в весенне-летний заметный рост. С 2016 по 2018 года частота отступлений колеблется от 4 до 10 шт./км.

На рис. 2 представлена гистограмма с общим количеством отступлений по годам.

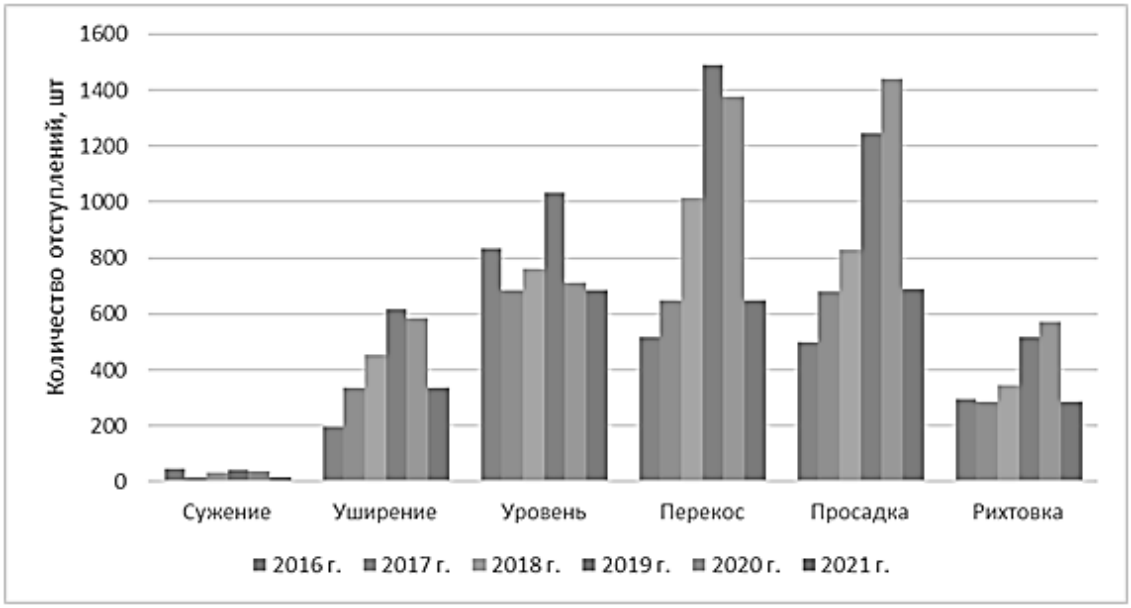


Рис. 2. Общее количество отступлений за год

По полученной гистограмме видно, что на данном участке большее количество отступлений приходится на 2019–2020 года по параметрам «Перекос» и «Просадка». Меньше всего анализируемый участок был подвержен отступлениям по «Сужению» рельсовой колеи. Также можно отметить, что пиковый рост всех отступлений пришелся на 2019–2020 года.

Отступления по параметру «Рихтовка» характеризует положение пути в плане. Проанализировав динамику развития по данному параметру (см. рис. 2), можно отметить, что пиковые значения приходятся на весенне-летний период, когда преобладают высокие температуры и присутствуют температурные напряжения в рельсовых плетях.

Отступления по параметру «Уровень», «Перекос» и «Просадка» характеризуют положение пути в профиле и являются хорошим индикатором состояния балластного слоя и земляного полотна [3]. На рис. 4–6 представлены графики развития по указанным параметрам.

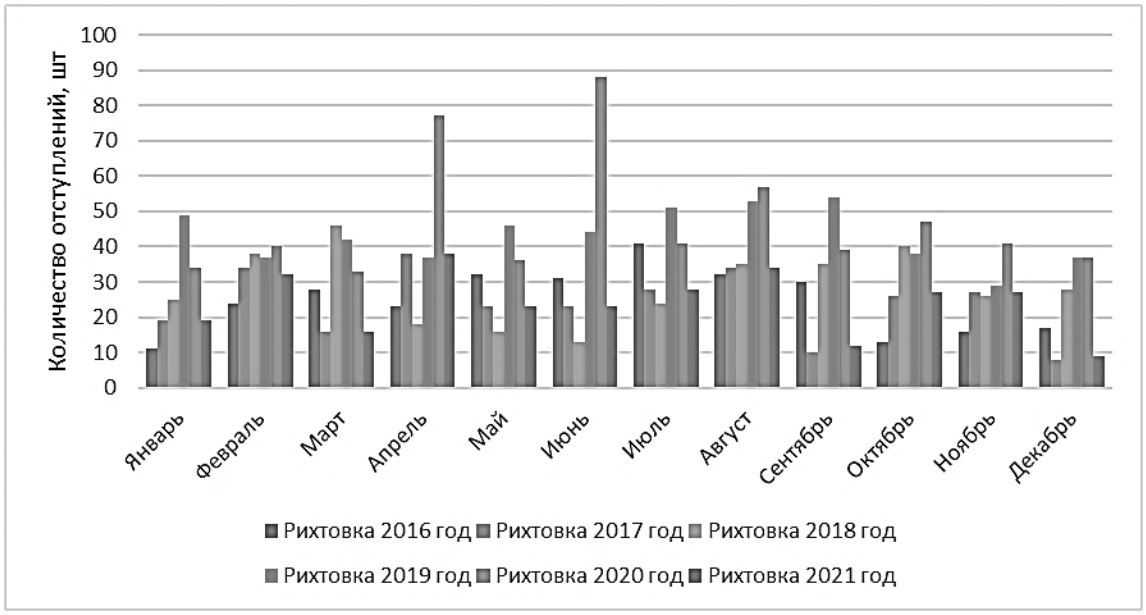


Рис. 3. Динамика развития отступлений по параметру «Рихтовка»

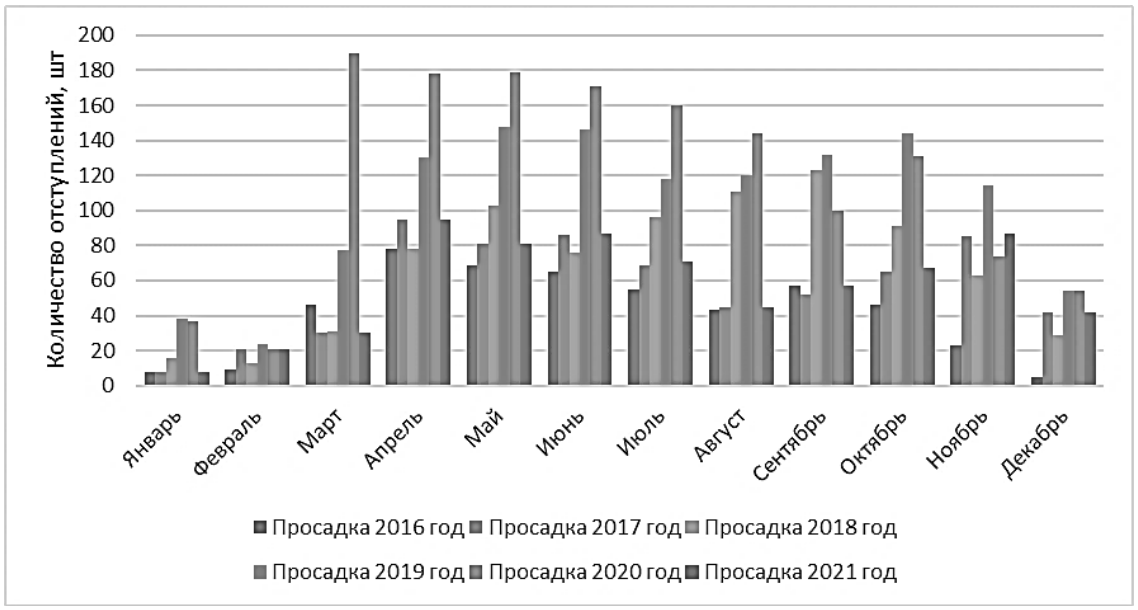


Рис. 4. Динамика развития отступлений по параметру «Просадка»

Пиковые значения по параметру «Просадка» приходятся на весенне-летний период. Наибольшее количество отступлений наблюдается в 2020 году. В осенне-зимний период происходит существенный спад отступлений.

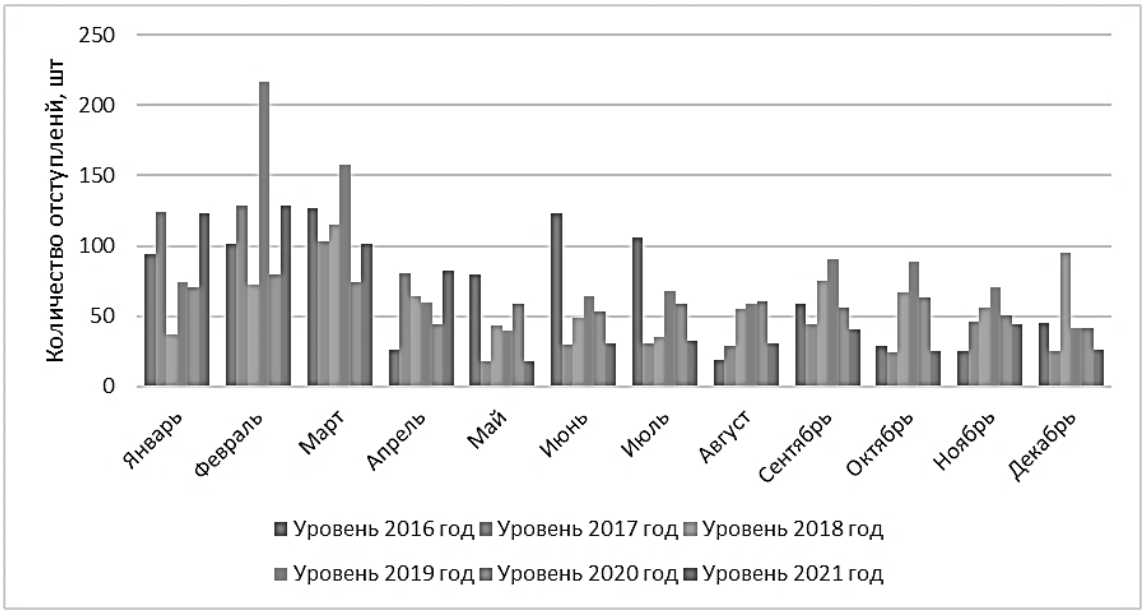


Рис. 5. Динамика развития отступлений по параметру «Уровень»

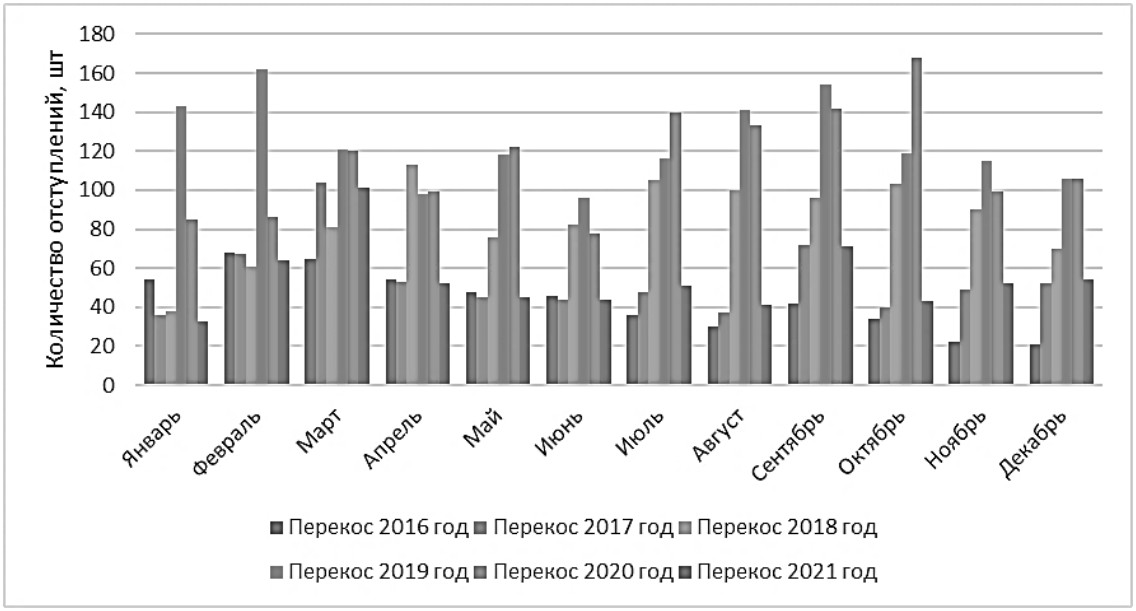


Рис. 6. Динамика развития отступлений по параметру «Перекос»

При анализе динамики развития отступлений по параметру «Уровень» (рис. 5) можно заметить, что по данному параметру наблюдается рост отступлений в период январь-март, в остальном периоде динамика остается без изменений.

Динамика развития отступлений по параметру «Перекос» демонстрирует их рост в период с 2019–2021 год, при этом пиковые значения отступлений приходятся на период июль-октябрь.

При анализе динамика развития отступлений по параметру «Шаблон» (рис. 7) отмечаются следующие тенденции: наибольшее количество отступлений приходится на январь, июнь, июль 2019 года и март 2020 года, в остальные периоды значение параметра не превышает 40–60 отступлений.

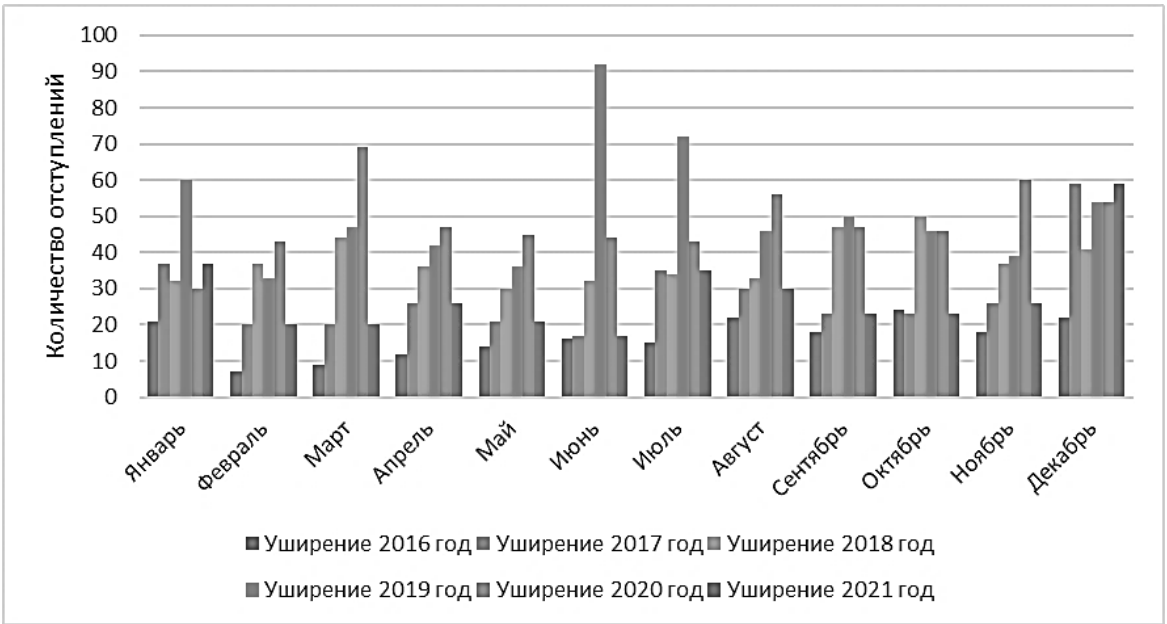


Рис. 7. Динамика развития отступлений по параметру «Уширение»

Заключение. Таким образом, по полученным результатам можно сделать ряд выводов:

1. Общая динамика развития деградационных процессов демонстрирует, что максимальная частота отступлений достигает 16,2 шт./км, а минимальная – 3,5 шт./км. Начиная с января 2018 г., произошло заметное увеличение частоты отступлений.

2. Пиковые значения отступлений по параметру «Рихтовка» приходятся в период действия высоких температур и наличия температурных напряжений в рельсовых плетях [5].

3. На рассмотренном участке пути практически отсутствуют отступления по параметру «Сужение».

4. Наибольшее рост отступлений приходится на параметры «Перекос» и «Просадка».

Библиографический список

1. Атапин, В. В. Оценка влияния работы различных типов рельсовых скреплений на состояние верхнего строения пути / В. В. Атапин, А. С. Нечушкин // Транспорт Урала. – 2021. – № 2 (69) – С. 73–78. – Текст : непосредственный.

2. Атапин, В. В. Роль технических показателей в создании информационной модели верхнего строения пути / В. В. Атапин, А. С. Нечушкин // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции. – 2022. – С. 174–177. – Текст : непосредственный.

3. Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов [утверждена заместителем министра путей сообщения Российской Федерации В. Т. Семеновым 14 октября 1997 г.] № ЦП-515. – Текст : непосредственный.

4. Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов [утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 28 февраля 2020 г.] № 436/р. – Текст : непосредственный.

5. Атапин, В. В. Управление рисками при оценке состояния бесстыкового пути / В. В. Атапин Н. А. Атапина // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 5. – С. 20–24. – Текст : непосредственный.

И.В. Благоразумов, А.К. Кемкина, Г.В. Ермолаева, Е.В. Непомнящих
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО УСИЛЕНИЮ МОЩНОСТИ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕГОНОВ КОВАЛИ–ГУДАЧИ И КАРЫМСКАЯ–ОЛОВЯННАЯ

В статье рассматриваются вопросы ограниченности провозной способности на примере Забайкальской железной дороги и предложены варианты усиления мощности. Проведен выбор экономически рационального варианта технических параметров дороги, обеспечивающего необходимую мощность не только к моменту ввода дороги в эксплуатацию или переустройству существующей линии, но и в течение периода последующей эксплуатации дороги. Проведены тяговые расчеты

по двум направлениям: участка Транссибирской магистрали и участка южного хода, рассмотрены и предложены увеличенные веса подвижных составов для повышения провозной способности. Для реализации мероприятий увеличения весов предложены удлинения приемоотправочных путей. Учитывая эксплуатационные и капитальные затраты на переход были выявлены наиболее экономически выгодные варианты для обоих направлений.

Ключевые слова: провозная способность, грузооборот, грузонапряженность, усиление мощности, Забайкальская железная дорога.

Забайкальская железная дорога является частью Транссибирской магистрали – транспортной артерии, осуществляющей международное сообщение России со странами Азиатско-Тихоокеанского региона, через порты Владивостока и Находки, и Китайской Народной республикой – основного торгового партнера, потребителя наших углеводородов и поставщика высокотехнологичной продукции для Российской экономики [1].

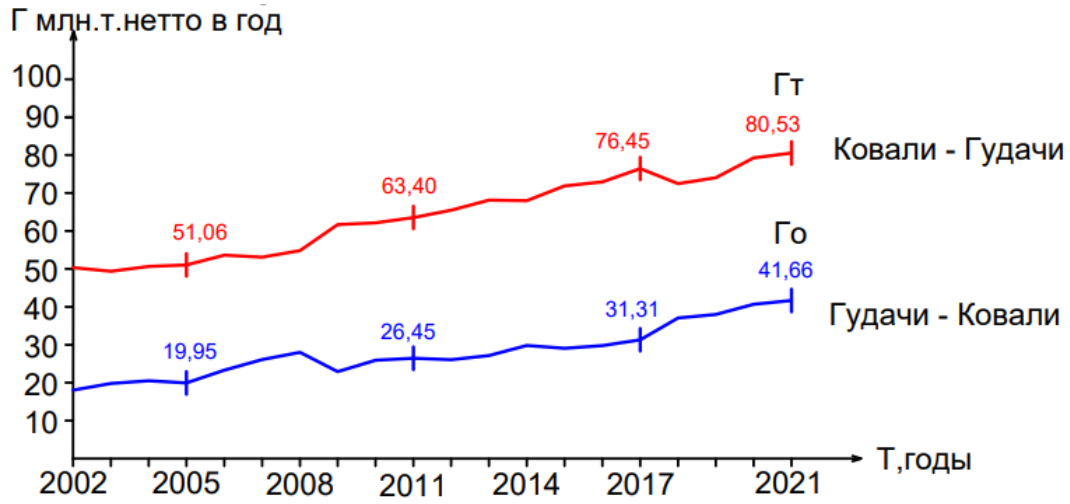
Интенсивный рост объемов грузовых перевозок по Забайкальской железной дороги начался с 2003 года. В период с 2011 по 2017 года сформировался стабильный экспортный поток нефти, угля, руды, удобрений и древесины с высокой динамикой прироста объемов, в настоящее время за год по дороге проходит более 200 тысяч вагонов внешнеторговых транзитных грузов. Эта тенденция определила особую актуальность проблемы усиления провозной способности Забайкальской железной дороги [2,3].

Анализ существующей мощности и разработка возможных вариантов усиления дороги выполнено на примере двух участков – первый – ст. Ковали – ст. Гудачи расположен на Главном ходу Транссиба; второй – участок от ст. Адриановка до ст. Оловянная, расположен на Южном ходу, соединяющем Транссиб с железнодорожной сетью КНР.

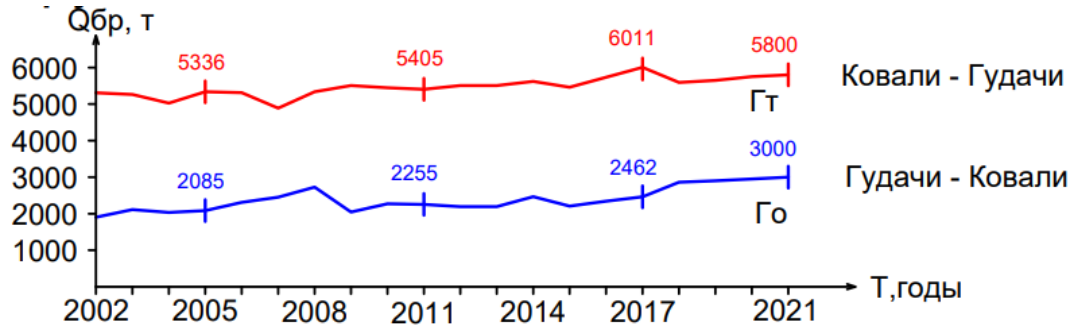
Показатели работы по рассматриваемым участкам существенно отличаются друг от друга. Динамика эксплуатационной работы по участкам ст. Ковали – ст. Гудачи и ст. Карымская – ст. Оловянная представлена на рис. 1 и 2.

Выявлено неравномерное по годам изменение показателей, вызванное различными экономическими и политическими событиями в разные периоды.

а)



б)



в)

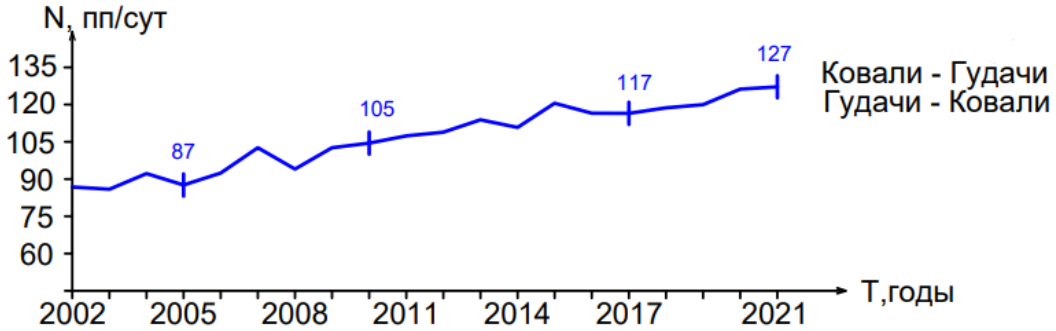
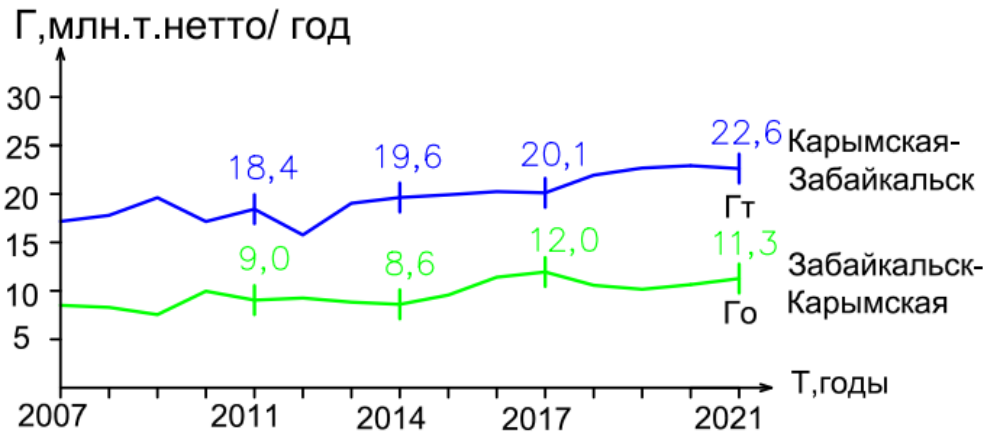
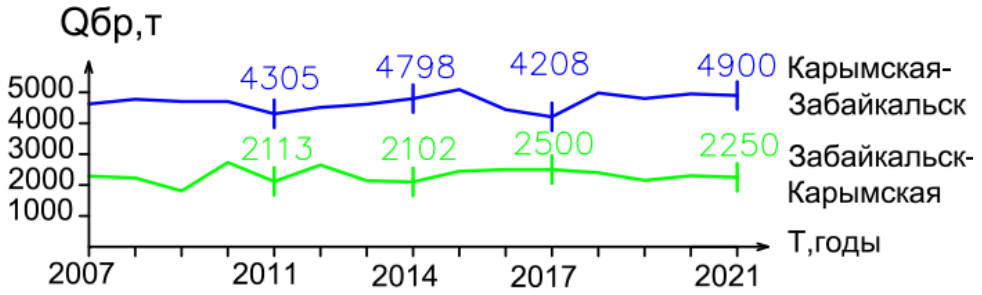


Рис. 1. Динамика изменения показателей эксплуатационной работы участка ст. Ковали – ст. Гудачи: а) объем перевозок (млн. т. нетто/год); б) вес грузовых поездов (т.); в) количества грузовых поездов (п/сут)

а)



б)



в)

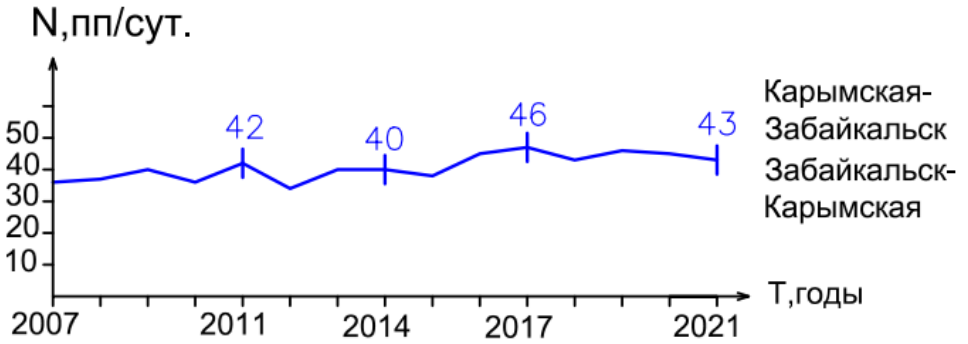


Рис. 2. Динамика изменения показателей эксплуатационной работы участка ст. Карымская – ст. Оловянная: а) объем грузовых перевозок (млн. т. нетто/год); б) вес грузовых поездов (т.); в) количества грузовых поездов (п/сут)

На основе анализа показателей эксплуатационной работы дороги построены линии тренда роста объемов перевозок по рассматриваемым участкам. Графики динамики грузопотоков на участках ст. Ковали –

ст. Гудачи и ст. Карымская – ст. Оловянная представлены на рис. 3 и 4 соответственно. Для первого участка на 2032 год ожидается объем перевозок размером 105 млн.т. нетто/год в грузовом и 50 млн.т. нетто/год в не грузовом направлении. Для второго соответственно 35 и 20млн.т. нетто/год. Далее по участкам выполнена оценка резервов провозной способности и определены сроки исчерпания мощности при существующем техническом состоянии железной дороги, с учетом коэффициента использования пропускной способности равном К=0,8. Расчеты показали, что при сохранение принятых параметров грузопотоков, срок технического перехода на участке ст. Ковали – ст. Гудачи наступит в 2026 году, а для Южного хода, на участке ст. Карымская – ст. Оловянная в 2031 году.

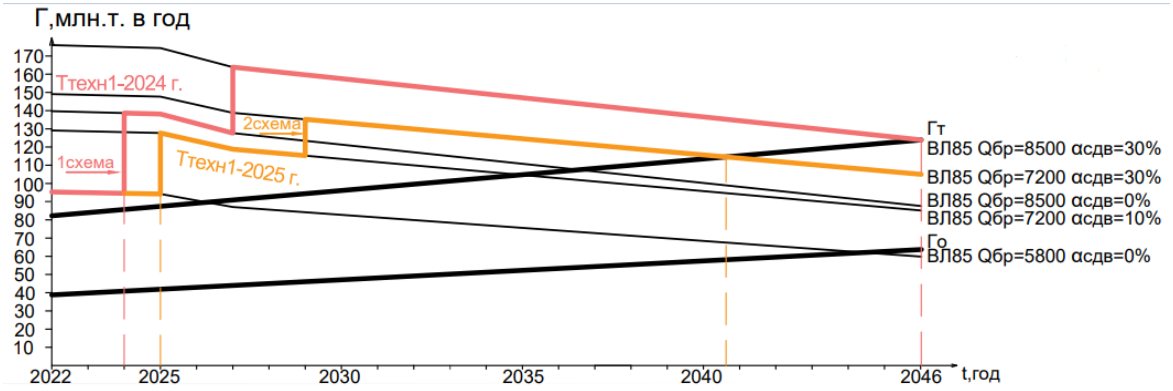


Рис. 3. Прогноз сроков эксплуатации переходов на участке ст. Ковали – ст. Гудачи

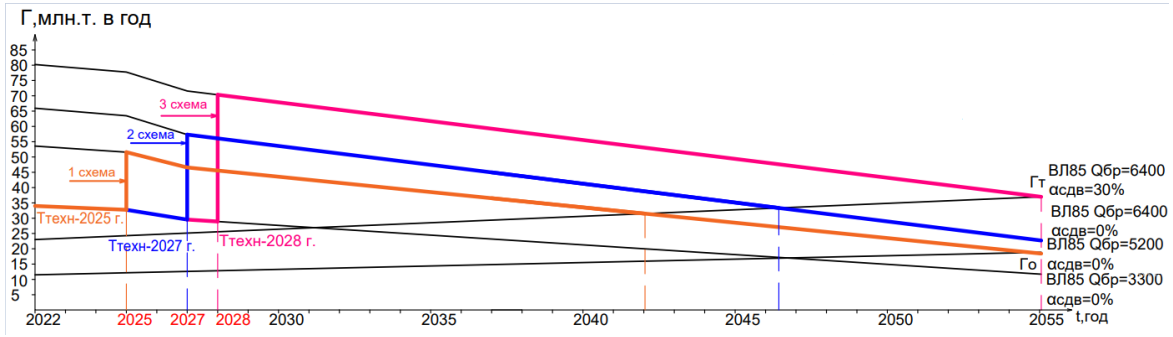


Рис. 4. Прогноз сроков эксплуатации переходов на участке ст. Карымская – ст. Оловянная

В качестве основных мероприятий, с помощью которых предусматривается увеличивать провозную способность рассмотрены такие, как

увеличение веса и размеров движения грузовых поездов, также разработаны варианты изменения положения трассы с целью ликвидации кривых малого радиуса [4].

Увеличение количества грузовых поездов на двухпутной железной дороге возможно за счет уменьшения величины межпоездного интервала J(мин) и организации движения сдвоенных поездов. Сдвоенный поезд представляет собой два одиночных грузовых поезда с локомотивами и локомотивными бригадами, соединенных вместе для прохождения определённого участка маршрута. При реализации данного способа возможно обращение различного количеством сдвоенных поездов в процентном соотношении с общим количеством грузовых поездов.

Для участка главного хода, ст. Ковали – ст. Гудачи предусмотрен трехэтапный процесс увеличения количества сдвоенных поездов, начиная собращения10% ($\alpha_{сдв}$ = 0,1) сдвоенных при межпоездном интервале между ними $J_{сдв}$=15 минут, затем доля сдвоенных увеличивается до 30% ($\alpha_{сдв}$ = 0,3) и на завершающем этапе до 50% ($\alpha_{сдв}$ = 0,5). Для поездов, пропускаемых одиночными, межпоездной интервал принят равным $J_{сдв}$= 12 минут.

Для участка Южного хода, ст. Карымская – ст. Оловянная приняты следующие параметры движения сдвоенных поездов – на первом этапе доля сдвоенных равна 10% ($\alpha_{сдв}$ = 0,1) при межпоездном интервале $J_{сдв}$=25 минут, на втором 30% ($\alpha_{сдв}$ = 0,3) и в заключении доля сдвоенных увеличивается до 50% ($\alpha_{сдв}$ = 0,5). Для одиночных поездов межпоездной интервал принят $J_{сдв}$=18 минут.

Для оценки перспектив увеличения веса грузовых поездов по участкам выполнены тяговые расчеты в программе ЭРА ТЭП. В качестве тяговых средств для поездов повышенного веса приняты современные локомотивы ВЛ85 и 2ЭС5К, которые имеют возможность реализовать максимальную силу тяги по условиям сцепления.

Вариантные расчеты на участке ст. Ковали – ст. Гудачи, выполненные для разных весов 6400т, 7200т, 8500т, 10000т подтверждают возможность увеличения веса грузовых поездов до 10000 тонн при одиночной тяге, за счет применения новых локомотивов. Продольный профиль участке спокойный, без затяжных подъемов большой величины, в плане большое количество кривых малого радиуса. В настоящее время по участку в грузовом направлении вес поездов составляет 5800 тонн.

Значения перспективных весов поезда для участка ст. Карымская – ст. Оловянная приняты равными 5200т, 6400т, 7200т, 8500т. На данном участке железная дорога пересекает Даурский хребет и продольный профиль перевальных перегонов ст. Адриановка – ст. Седловая – ст. Бу-

рятская характеризуется уклонами до 20‰, для преодоления которых необходимо применять двойную и более кратную тягу. Двойная тяга с локомотивом ВЛ85 позволяет увеличивать вес поездов до 8500 тонн. Локомотив 2ЭС5К обеспечивает увеличение вес поезда до 8500 тонн только при 4 локомотивах. В настоящее при одиночной тяге с локомотивом ВЛ85, на участке обращаются поезда весом 3300 тонн.

Основным условием необходимым для увеличения веса грузовых поездов и организации движения сдвоенных составов, помимо усиления земляного полотна, верхнего строения пути, искусственных сооружений и контактной сети является обязательная реконструкция части станций участков, удлинение на них общего числа и длины станционных путей для приема и обработки поездов большого веса и длины [5].

На рис. 5 и 6 представлены графики этапного увеличения провозной способности участков за счет увеличения веса и количества сдвоенных грузовых поездов.

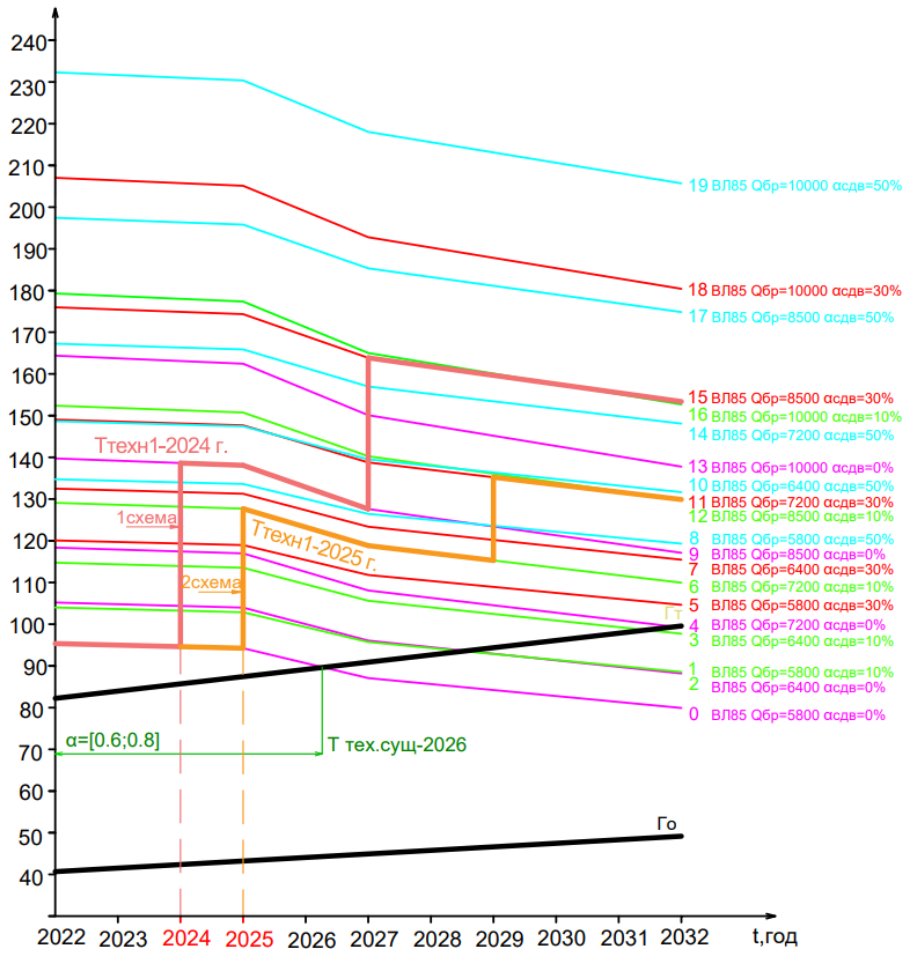


Рис. 5. График овладения перевозками на перегоне Ковали – Гудачи

Схема 1 – предусматривается максимальная модернизация участка, начиная с исходного состояния, вес 5800 тонн, без сдвоенных поездов, переходим на вес 8500 тонн, при данном переходе необходимо увеличить длину приемоотправочных путей до 2800 метров на станции Ковали. В настоящее время длина приемоотправочных путей на станции составляет 922 метра. Существующий план трассы не позволяет удлинить станцию до нужных размеров, так как включает в себя множество малорадиусных кривых. Принято решение вынести ось станции на новый план, сократив количество кривых и увеличив минимальный радиус, что позволило запроектировать приемоотправочные пути необходимой длины.

Следующий переход на 15 состояние предусматривает организацию 30% сдвоенных поездов при том же весе и реконструкцию еще одной станции, так как при организации движения сдвоенных поездов необходимо минимум 2 станции с длиной приемоотправочных путей 2800 метров для остановки, осмотра и скрещивания сдвоенных поездов. Опираясь на то, что длина между станциями в Талданской дистанции пути сравнительно небольшая, для реконструкции была выбрана станция Талдан. Расстояние между Ковали и Талданом составляет 61 км. На станции Талдан был так же предусмотрен вынос трассы на новую ось, так как существующий план включает в себя малорадиусные кривые, что обуславливается невозможностью простого удлинения приемоотправочных путей. Кроме удлинения приемоотправочных путей на всем протяжении Талданской дистанции пути предусмотрен капитальный ремонт пути, ИССО, усиление контактной сети и СЦБ для организации движения тяжеловесных поездов.

Схема 2 – предусматривает организацию движения сдвоенных поездов в два этапа. Первый этап: переход в 2025 году с исходного состояния (5800 тонн, одиночные поезда) на состояние с организацией движения 10% сдвоенных поездов на весе 7200 тонн и увеличение длины приемоотправочных путей на станции Ангарич. На данный момент их длина составляет 1160 метров, необходимая длина 2400 метров. Это состояние эксплуатируется до 2029 года, в дальнейшем предусмотрен второй этап усиления мощности. Второй этап предусматривает организацию движения 30% сдвоенных поездов с весом 7200 тонн. Данная схема предусматривает срок эксплуатации с 2029 до 2041 год (12 лет). На этом этапе необходима реконструкция еще одной станции для остановки, осмотра и скрещивания поездов. Для переустройства выбрана станция Талдан по тому же принципу что и для 1 схемы этапного усиления мощности. Эта схема включает в себя усиление земляного полотна, искусственных сооружений, верхнего строения пути (омоноличивание плеча балластной призмы).

После проведенных экономических расчетов, было выяснено, что первая схема этапного усиления мощности наименее затратная и удовлетворяет поставленным требованиям. Срок эксплуатации составит 19 лет.

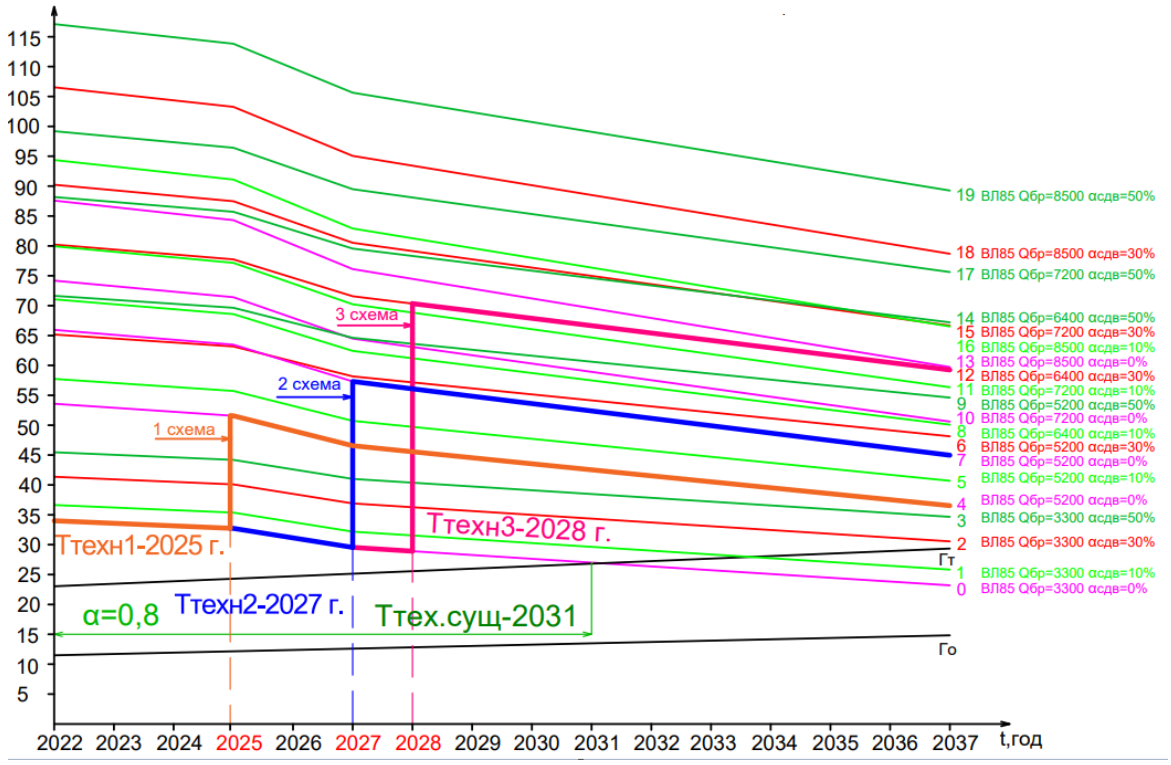


Рис. 6. График овладения перевозками на перегоне Карымская – Оловянная

Для участка Южного хода намечены следующие три варианта схемы этапного усиления мощности, отличающиеся друг от друга значениями веса грузовых поездов, долей соединенных поездов и периодом эксплуатации на новом техническом состоянии.

Первый вариант предусматривает увеличение весовой нормы одиночных грузовых поездов с нынешних Qбр=3300 т, до 5200т, при этом длина таких поездов не превысит полезную длину приёмоотправочных путей ($l_п \leq l_{поп}$) раздельных пунктах рассматриваемого участка. Данное решение позволяет существенно снизить капитальные вложения в переустройство станций. Необходимыми условиями для увеличения веса грузовых поездов являются работы по реконструкции земляного полотна, искусственных сооружений и верхнего строения пути на всем участке от ст. Карымская до ст. Оловянная. Также потребуются капитальные вложения в усиление контактной сети участка и в локомотивный парк, для приобретения дополнительных локомотивов. Переход на новый вес

грузовых поездов намечен на 2025 год. Мощность железной дороги при данном техническим состоянии будет обеспечивать грузовые перевозки в течение 20 лет до 2043 года.

Во втором варианте намечено увеличение весовой нормы поездов до уровня Qбр= 6400 т. При этом потребуется переустройство двух раздельных пунктов – удлинение приемоотправочных путей для остановок, технического осмотра и обслуживания поездов повышенного веса и длины. Под реконструкцию попадают ст. Степь и на раз. №71. Кроме этого, как и в первом варианте, предусмотрены затраты в инфраструктуру и локомотивный парк – для обеспечения условий обращения большегрузных поездов. В данном варианте схемы переход на новый уровень намечен на 2027 год, а срок эксплуатации железной дороги без переустройства обеспечивает ее работу до 2047 года.

В третьем варианте схемы усиления мощности рассмотрена организация движения сдвоенных поездов в объеме 30% общего поездопотока, при это вес одиночного грузового поезда принят равным Qбр= 6400 т. В данном варианте в дополнении к двум раздельным пунктам ст. Степь и раз. №71, на которых во втором варианте предусмотрено удлинение станционных путей, добавляется реконструкции еще двух станций для обработки сдвоенных составов. В данном случае переустройство намечено на ст. Булак и ст. Бурятская – вариант предусматривается. При этом требуется увеличить длину приёмоотправочных путей до 2200 м.

Данный вариант отличается максимальным размером требуемых капитальных вложений, при этом обеспечивается самый большой период эксплуатации до следующего срока технического перехода, до 2055 года. Такое решение создает высокий уровень надежности функционирования железной дороги, обеспечивая ее готовность к более высокой динамике увеличения потребной провозной способности.

На примере станции Булак (рис. 7) схематично представлена реконструкция станции.

Рис. 7. Схема проекта реконструкции станции Булак

Объёмы работ по переустройству верхнего строения пути на станции Булак сведены в Таблицу.

Таблица

Объёмы работ по переустройству верхнего строения пути на станции Булак

Удлинение длины приемоотправочных путей	Исходная длина	Проектная длина
	I – 1049 м II – 1103 м	2100м
Демонтаж стрелочных переводов	6 шт.	
Демонтаж светофоров	7 шт.	
Демонтаж съездов		
Демонтаж контактной сети		

Экономически выгодным вариантом этапного усиления мощности является вторая схема перехода. Срок эксплуатации составит 25 лет.

Библиографический список

1. Никифорова, Н. В. Забайкальская железная дорога во второй половине 1920-х гг. / Н. В. Никифорова // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – Том 2. – 2015. – С. 628–633. – edn unwlrb. – Текст : непосредственный.

2. Кирпичников, К. А. Российские широтные магистрали в системе международных транспортных коридоров / К. А. Кирпичников, Е. В. Непомнящих, Я. В. Клочков // Транссиб: на острие реформ : материалы международной научно-практической конференции, Чита, 06–07 октября 2016 года. – Чита : ЗабИЖТ ИрГУПС, 2016. – С. 145–148. – EDN WWBFVN. – Текст : непосредственный.

3. 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 // 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. – Текст : непосредственный.

4. Сарапулов, Л. Л. Увеличение скоростей движения поездов при реконструкции Забайкальской железной дороги для обеспечения устойчивых транспортных связей с Китаем / Л. Л. Сарапулов, В. Ю. Линейцев, К. А. Кирпичников // Актуальные проблемы развития КНР в процессе ее регионализации и глобализации : материалы IX Междуна-

родной научно-практической конференции, Чита, 10 марта 2017 года / ответственный редактор А. Ю. Лавров. – Чита : Забайкальский государственный университет, 2017. – С. 117–126. – EDN YZGUFT. – Текст : непосредственный.

5. Подвербный, В. А. Выбор проектного решения в задаче реконструкции станции / В. А. Подвербный, Е. В. Бутырина, Е. А. Рыжик // Наука и образование транспорту. – 2015. – № 1. – С. 232–234. – EDN VOKPVX. – Текст : непосредственный.

К.В. Волошина
Байкало-Амурский институт железнодорожного транспорта,
г. Тында, Россия

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СИСТЕМЕ ВЕДЕНИЯ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОСНОВЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Российские железные дороги являются ключевым, а в некоторых случаях и единственным способом перевозки грузов и пассажиров. Системообразующая роль железнодорожного транспорта подтверждается не только объемом выполняемых им перевозок, но и дополнительными требованиями к отрасли. Системный анализ текущего состояния железнодорожного транспорта и тенденций его развития показывает, что, несмотря на стабильную работу, отрасль в настоящее время характеризуется рядом серьезных проблем. Основная проблема заключается в том, что уровень эффективности железнодорожного транспорта, спектр и качество предоставляемых пользователям услуг не в полной мере отвечают требованиям текущей экономической ситуации. Задача отрасли – радикально повысить эффективность железнодорожного транспорта за счет внедрения новых технологий и методов управления. Реформа железнодорожного транспорта требует устранения узких мест, прорыва новых технологий на основе целенаправленной технической политики отрасли.

Ключевые слова: проект реорганизации, ресурсосбережение, повышение качества, машинные комплексы.

Регион должен стремиться значительно повысить эффективность железной дороги за счет внедрения новейших технологий и методов управления. Трансформация железных дорог требует устранения огра-

ниченных территорий, прорыва в области новейших технологий на основе промышленной политики, направленной в этих областях. Проект реорганизации и развития дорожного хозяйства основан на внедрении ресурсосберегающих технологий и промышленном перевооружении. В постановлении "Об организации работы путевого хозяйства" учтено широкое применение ресурсосберегающих технологий за счет внедрения существующих стандартов в системах технической, дорожной и финансовой диагностики, а также применения компьютерных технологий, повышения прочности и компоновки колеи.

Абсолютная реализация этого утверждения позволяет сократить объем корректирующих работ и снизить трудозатраты на пути.

Для увеличения времени между ремонтами внедряются новейшие ресурсосберегающие технологические процессы ремонта и поиска решений. Как правило, в результате использования сборных машин достигается глубочайшая очистка от загрязнений и замена балласта, а также низкая взбивающая способность, что гарантирует стабилизацию основного участка дорожного полотна. Использование автомобильных фитингов для замены зубчатых колес qi-ferblat в блоках, в таких количествах в крутых стержнях. С помощью машины можно шлифовать профиль и улучшать сварочные свойства рельсов. Использование механических комплексов для целей текущего ремонта пути. Использование новейших механизмов в базе данных компьютерных технологий. Маршруты должны быть введены в качестве основного приоритета, что позволит продлить время ремонта и снизить затраты на рабочую силу в текущем местоположении на пути.

Исследования показали, что переход зон низкой активности железнодорожного пути вместе с деревянными шпалами подрельсовому фундаменту за счет комбинированного использования материалов с ключевыми направлениями и неполного использования новых железобетонных шпал обеспечивает необходимую экономию ресурсов.

1. Повышается устойчивость дороги (меньше ремонтных работ);

2. Рабочее время увеличивается в 2-3 раза один раз;

3. Экономия электроэнергии и топлива при буксировке поезда (7 млн кВт/1000 км пути электроэнергии или 3,9 тыс. тонн дизельного топлива);

4. Улучшается естественная среда.

Создание основной площадки земельного участка гарантирует экономию эксплуатационных расходов системы в размере 0,65 млн руб./км. Использование комплексов с целью наиболее глубокой очистки балластной призмы позволяет совместно с каждым методом снизить по-

требность в ремонте дорог на 15 %, экономя 180 миллионов рублей на тысячу отремонтированных километров;

Увеличение размеров вторичной укладки осуществляется вместе с основными линиями. В этом случае набор перемещений с крутым диапазоном увеличивает продолжительность их работы на 18–20%, снижает стоимость текущего времени на 10–12%. 5%, а сдвиг уменьшит потребность в недавних перемещениях, снижая затраты примерно на сто миллионов рублей на 1000 перемещений запасов, увеличение размера проблемы и укладки инвентаря.

Экономия гарантируется также тем, что известные показатели расхода материалов на железнодорожное строительство, могут быть снижены в среднем более чем на 30%, а наценка на километр в 2 раза выше в результате использования старых использованных материалов.

Осуществление мер по повышению устойчивости дороги в период ремонта, включая тщательную очистку балластной засыпки, периодическое шлифование рельсов, использование динамических дорожных стабилизаторов

Вывод

1. Основным направлением снижения затрат на содержание дорог является развитие дорожной системы, обеспечивающей долгосрочную стабильность и низкую насыщенность при накоплении поломок. Это направлено на решение проблемы совместного использования компонентов требуемого свойства ВСП, а также использования эффективных технологий ремонта дверей в сочетании с использованием современных дорожных транспортных средств.

2. В целях единого постановления, с целью снижения затрат на управление дорогами, необходимо предусмотреть текущее содержание дороги (и в соответствии с этим контингентом) в 2,5-3 раза, кроме того, объем дорожно-ремонтных работ должен обеспечиваться современными дорожных транспортных средств в 1,3-1,4 раза и резкое увеличение уклона шпал, главное – улучшение свойств используемых рельсов, широкое внедрение щебеночного балласта, гибкого крепежа, а также создание дорожного полотна.

3. Абсолютное снижение затрат может быть достигнуто после строительства стабильного пути вдоль основного с 70 до 80 тысяч километров.

4. Огромным "вкладом" в насыщенность железнодорожных неисправностей в стоимость ее нынешнего характера и состава является степень влияния российских грузоперевозок, которые составляют значительную часть ущерба пути.

Библиографический список

1. 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/ – Загл. с экрана. – Текст : электронный.

2. Копыленко, В. А. Изыскания и проектирование железных дорог : учебник для СПО / В. А. Копыленко, В. В. Космин. – Москва : ФГБУ ДПО «УМЦ ЖДТ», 2017. – 1 эл. опт. диск.

3. Техник транспорта: образование и практика. – 2021. – Том 2. – Выпуск 1. – Москва : ФГБУ ДПО «УМЦ ЖДТ», 2021. – 128 с. (Online) – Текст : электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. – URL : http://umczdt.ru/books/947/250787/ – Режим доступа : электронный.

4. Железнодорожный транспорт : ежемесячный научно-технический технико-экономический журнал, 2020–2021 гг. – Текст : непосредственный.

С.Б. Иевская
ФГБОУ ВО ИрГУПС,
Сибирский колледж транспорта и строительства,
г. Иркутск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МОСТОСТРОЕНИИ

Повышенные требования к качеству и срокам строительства, ремонта и реконструкции транспортных сооружений обуславливают необходимость разработки, внедрения современных строительных материалов и технологий производства работ.

Ключевые слова: легкий бетон, композиционные материалы, гидроизоляционные защитные покрытия, жидкая резина, наноструктурированные пленочные покрытия.

Искусственные сооружения играют ключевую роль в увеличении и развитии современных транспортных магистралей нашей страны. Важнейшими из них, наиболее сложными и дорогостоящими являются сооружения мостового типа. Мосты сегодня – это воплощение пика строительного искусства.

Строительство мостов всегда считалось одним из самых консервативных направлений строительства [1]. Однако все чаще в современном

мостостроении применяются новейшие технологии с использованием инновационных строительных материалов.

Так, на сегодняшний день проблема возведения крупногабаритных сооружений высокого качества решена с внедрением новых технологий строительства мостов на основе легкого бетона. Этот материал не уступает по своим прочностным характеристикам, давно применяемым и хорошо себя зарекомендовавшим тяжелым мостовым бетонам.

В современных конструкциях железобетонных мостов применяется легкий бетон плотностью всего 2000 кг на кубический метр, но при этом его прочностные характеристики достигают 25 МПа и выше [2].

Таким образом, удается, снизив общий вес пролетных строений на одну треть без потери их прочности, применять более облегченные конструкции опор и фундаментов сооружений. Такой эффект достигается за счет использования в составе бетона пористых заполнителей вулканического происхождения.

В настоящее время не менее востребованным является и наноструктурированный бетон, который создается посредством введения в его состав многослойных структур из наночастиц фуллероидного типа. Наличие определенной консистенции цементного камня в составе бетонной смеси создает условия для микродисперсного самоармирования, повышая тем самым прочностные характеристики этого современного строительного материала.

Разработаны также новые составы присадок с целью увеличения вязкости сварных соединений, которые включают наночастицы кальция и магния для уменьшения размера зерен стали в местах формирования швов.

В настоящее время при реконструкции мостов элементы с низкой несущей способностью заменяют на конструкции из современных композиционных материалов.

Основу композитных материалов составляют углеродные волокна, которые рассчитаны для работы в условиях повышенного сжатия и растяжения конструкций. Кроме того, они обладают очень высоким модулем упругости и значительной стойкостью к воздействию различных агрессивных сред. Все эти положительные свойства композита используют при ремонте и усилении железобетонных пролетных строений [3].

Композит может производиться в виде рулонов, так называемых «холстов». В данном случае он послойно наклеивается на поверхность конструкции с помощью специальных эпоксидных смол.

Существует так же второй способ применения композиционного материала. В его основе лежит технология пропитки тканей полимер-

ными составами с последующим наслоением и протяжкой через вращающиеся валики с прессованием и нагревом до высоких температур, в результате чего формируются жесткие композиционные ленты.

Поскольку композиты по сравнению с железобетоном имеют значительно малый вес, высокую стойкость к воздействиям внешней агрессивной среды, очень высокую прочность на сжатие и растяжение, относительно не высокую стоимость в производстве, их по праву можно считать достойными приемниками старых, испытанных временем материалов, а так же возможно их совместное применение.

В перспективе намечается дальнейшее улучшение эксплуатационных параметров композиционных материалов с применением современных нанотехнологий:

– добавление в их состав диоксида кремния, что позволит получить огнеупорное покрытие;

– добавление наночастиц диоксида титана, что даст возможность улучшить гидрофобные свойства готового материала.

В связи с этим, все чаще наблюдается ситуация, когда при реконструкции и ремонте мостов часть металлических и железобетонных элементов заменяются элементами из композиционных материалов.

Срок эксплуатации капитальных мостов рассчитывается более чем на сто лет. Самыми сильными разрушителями любых материалов всегда по праву считались вода, резкие перепады температур и не благоприятные условия строительства с точки зрения нахождения сооружений в сейсмически активных зонах.

Для защиты пролетных строений от воды уже более полувека применяется рулонная гидроизоляция, основу которой составляет продукт нефтепереработки – битум. Рулонную гидроизоляцию приклеивают к конструкции путем нагрева ее горелками, раскатывая по поверхности полосами определенной стандартной ширины. Место стыкования полос зачастую является самым уязвимым во время эксплуатации сооружения. Часто там происходят разрывы, разрушения изоляции и, как следствие, попадание воды на бетонную поверхность. Это приводит к ее замерзанию в зимний период и, соответственно, появлению трещин, проникновению к металлическим армирующим элементам и общему ослаблению конструкции в случае, если вовремя не принимаются меры по замене гидроизоляционного слоя.

Поэтому в настоящее время наиболее глобальные изменения происходят в области производства гидроизоляционных материалов, которые широко применяются для защиты от воды не только железобетонных

элементов пролетных строений железнодорожных и автодорожных мостов, но и покрытий поверхности проезжей части автомобильных дорог.

Следует отметить, что разработка новых гидроизоляционных материалов и внедрение их в производство осуществляется российскими исследователями и местными производителями. В современных условиях полного отказа от импортных материалов это особенно важно.

Одной из последних разработок в этом направлении является создание так называемой «жидкой резины» БРИТ.

БРИТ – защитно-восстановительные смеси холодного нанесения, являющейся продуктом компании «Газпром Нефть». Это новая разработка российских производителей – битумно-полимерная эмульсия. Она создана для изоляции поверхностей, которые находятся в постоянном контакте с водой, подвергаются агрессивному влиянию щелочей, кислот, что приводит к преждевременному износу и потере прочности конструкций.

В состав материала введены добавки технического латекса, что придает ему свойства требуемой эластичности и повышенной вязкости, и при длительной эксплуатации сооружений значительно увеличивает их межремонтный период [4].

Основным достоинством нового материала по сравнению с рулонной гидроизоляцией является то, что он, попадая на поверхности, где есть трещины любого размера и проникая в них, – создает бесшовное защитное покрытие, которое значительно увеличивает срок эксплуатации конструкций.

Надежность и долгосрочность получаемого гидроизоляционного покрытия объясняется особенностями состава жидкой резины. Прежде всего – это однородность и мелкодисперсность структуры эмульсии, которая не разделяется на фракции даже при длительном ее хранении. В состав эмульсии введены определенные эмульгаторы, за счет чего она всегда остается готовой к применению даже после длительной транспортировки, не требуя никаких дополнительных действий перед началом ее нанесения.

Поверхность, на которую распыляется гидроизоляционный материал, будет всегда обладать однородным покрытием по всей площади, сохранять свои свойства как при очень низких температурах окружающей среды (до -35 °С), так и устойчивым к воздействию прямых солнечных лучей.

Широкий диапазон потребительских качеств нового материала позволяет применять его практически на всей территории нашей страны.

Гидроизоляционное покрытие «жидкая резина» апробировано на мостах в Алтайском крае, Псковской, Свердловской областях, а теперь и в Бурятии на мосту через реку Малый Мамай.

По согласованию с заказчиком Управления дорожного строительства «Южный Байкал» был выбран опытный экспериментальный участок Федеральной трассы Р-258 «Байкал» в республике Бурятия, где в сентябре 2022 года совместно с представителями завода производителя «Газпром Нефть» «Битумные материалы» дорожники опробовали инновационный состав. Они выполнили гидроизоляцию пролетного строения моста через реку Малый Мамай с использованием полимерной эмульсии «БРИТ. Жидкая резина. Мост». Напыление происходило механизированным способом, что позволило нанести на покрытие сплошную бесшовную мембрану толщиной 5 мм очень быстро и качественно.

Слой жидкой резины, по словам производителей, надежно защитит пролетное строение от влаги, предотвратит его преждевременное разрушение, значительно продлевая срок службы.

Нанесение гидроизоляционного слоя происходило поэтапно. Сначала была выполнена подгрунтовка поверхности специальным составом, а спустя несколько часов этот процесс завершился одновременным смешиванием двух компонентов: специального материала и водного раствора обычной технической соли натрий хлор в факеле форсунок, где наступила нужная химическая реакция и затем было выполнено распыление смеси по поверхности сооружения. При этом легко и быстро были обработаны все закладные элементы, швы, стыки железобетонного пролетного строения моста, в результате чего получилась ровная, монолитная поверхность.

При соблюдении технологии нанесения гидроизоляционного покрытия разработчик гарантирует значительное продление срока эксплуатации сооружений.

К достоинствам нанесения жидкой резины можно отнести следующее:

– смесь доставляется на объект в удобной таре;

– легкий и довольно точный расчёт необходимого количества материала на площадь покрытия;

– значительное снижение трудозатрат при увеличении скорости работ. При благоприятных погодных условиях бригада из 3 человек за одну рабочую смену покрывает поверхность около1000 квадратных метров.

На сегодняшний день, конечно же, еще остаются определенные вопросы в области строительства и эксплуатации транспортных сооруже-

ний. Но новые разработки и внедрение в производство отечественных инновационных строительных материалов и технологий дают широкие возможности для решения всех насущных проблем.

Библиографический список

1. Строительство мостов : учебное пособие для вузов / В. Г. Курлянд, В. В. Курлянд ; МАДИ. – Москва, 2012. – 176 с. – Текст : непосредственный.

2. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / В. С. Руднов [и др.] ; под общей редакцией доцента, кандидата технических наук И. К. Доманской. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета. – 2018. – 203 с. – Текст : непосредственный.

3. Лаврентьева, В. Ю. Реконструкция мостов с использованием композитных материалов с целью повышения грузоподъемности / В. Ю. Лаврентьева // Молодой ученый. – 2017. – № 20 (154). – С. 43–46. – URL : https://moluch.ru/archive/154/43532/ (дата обращения: 30.10.2022). – Текст : электронный.

4. Мастика гидроизоляционная «БРИТ» / материалы гидроизоляционные. – URL : https://www.brit-r.ru/products/waterproofing/brit-insulation.php (дата обращения: 30.10.2022). – Текст : электронный.

Е.А. Козачук
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

ОТДЕЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНССИБИРСКОЙ И БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Статья раскрывает текущее состояние основных проблем и перспектив модернизации Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей. Авторы статьи проводят анализ проблем железнодорожных магистралей, связанных в том числе со слабым социально-экономическим развитием регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока, а также пока неясными перспективами в угольной отрасли. Особое внимание уделяется дальнейшему развитию этих железнодорожных магистралей. Автор утверждает, что анализ пропускной

(провозной) способности Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей даёт возможность говорить о том, что оптимистический прогноз в среднесрочной и долгосрочной перспективах развития Транссибрской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей, разработанный отдельными экспертами, не принимает во внимание наиболее важные проблемы, уже существующие или могущие проявиться в будущие периоды. В статье представлен краткий анализ состояния и перспектив развития железнодорожной инфраструктуры. Особое внимание уделяется исследованию пропускной способности системы, «узких мест» на сетях железных дорог, причин их возникновения и возможности устранения. Анализируются основные положения Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации

Ключевые слова. Байкало-Амурская магистраль, Транссибирская магистраль, Восточный полигон, модернизация.

Введение. Актуальность исследования заявленной темы обусловлена тем, что «Восточный полигон» представляет собой один из глобальных проектов современности, направленный на комплексную модернизацию БАМа Транссиба, что, в свою очередь, даст возможность увеличения пропускной способности железнодорожной сети по этим направлениям с 75 до 130 млн. тонн. В силу того, что отдельные участки БАМа и Транссиба являются «узкими местами» данного проекта, представляется целесообразным охарактеризовать наиболее значимые проблемы и возможные перспективы их развития и модернизации в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

Основная часть. На протяжении последних 2 лет в РФ имеет место активизация процесса обсуждения проблем развития БАМа и Транссиба, а также основных направлений решения этих проблем. Так, с 2018 г. на уровне государства идёт обсуждение вопросов в данной сфере, что привело к принятию многочисленных официальных документов. Эти документы можно считать точкой отсчёта нового этапа развития «Восточного полигона», в связи с чем необходимо кратко охарактеризовать современное состояние БАМа и Транссиба, а также определить круг целей и задач их развития, ровно, как и актуальность развития этих магистралей в среднесрочной и долгосрочной перспективах.

Анализ ряда публикаций [4, 5] даёт возможность говорить о том, что социально-экономическая ситуация на БАМе продолжает оставаться крайне нестабильной, а перспективы её изменения – неясными. К примеру, если говорить об объёме перевозок на участке Тайшет – Тында –

Комсомольск-на-Амуре, то в настоящее время он составляет около 12 миллионов тонн, при этом значительная их часть проходит по участку Тайшет – Усть-Кут, в то время как по участку Комсомольск-на-Амуре – Северобайкальск среднесуточное количество поездов составляет не более двух [3]. Эти данные говорят о том, что информация о перегруженности БАМа в последнее время является не соответствующей действительности.

Следует обратить внимание на фактическую проблему недостатка мощностей, вырабатываемых тяговой системой электроснабжения на маршруте посёлок Таксимо – восточное направление до города Советская Гавань. На данном расстоянии в наши дни применяются тепловозы, это создаёт предпосылки для повышения цены транспортных тарифов, поскольку те находятся в прямой зависимости от динамики цен на топливные ресурсы. Это обстоятельство подчёркивает целесообразность формирования сети электроснабжения в этой местности, то есть к возведению линии электропередач. На данный момент ПАО «Федеральная сетевая компания» (ФСК), входящая в состав холдинга ПАО «Россети», занимается осуществлением монтажно-строительных работ по возведению линии электропередач на территории БАМа и Транссиба. Ожидается, что стоимость комплекса данных работ к декабрю 2024 года составит ориентировочно 105 млрд рублей. Специалистами подсчитано, что формирование сети линии электропередач на расстоянии 4,2 тыс. км обеспечит увеличение энергоёмкости на 4 тысячи мегавольт, а это отразится на приросте уровня тягловой нагрузки до 1,2 Гигаватта [8]

Прогнозируемый дефицит электроэнергии можно было бы уменьшить посредством строительства ПАО ФСК ЛЭП 500 кВ от подстанции в г. Усть-Кут до подстанции 500 кВ, строительство которой запланировано в Нижнеангарске, расположенном на северной оконечности озера Байкал. Однако подобное решение ещё не принято, поскольку оно сопряжено с рядом проблем экологического и экономического характера. Временной мерой в данном случае можно назвать то, что в декабре 2019 года руководство РЖД попросило Минэнерго РФ перебросить четыре мобильных газотурбинных электростанции из Крыма на БАМ, которые, как полагает Минэнерго РФ, могли бы работать на БАМе на протяжении 2-2,5 лет [10].

Кроме того, мнения многих специалистов сводятся к тому, что проблематичным, «узким местом», негативно влияющим на пропускную способность транспортных потоков, можно назвать Северо-Муйский туннель. Уже найден фактический инвестор, готовый начать реализацию инвестиционного проекта по возведению второго туннеля, при этом финан-

сирование будет осуществляться полностью за счёт собственных источников, примерная стоимость проекта 60 млрд рублей, продолжительность его осуществления около 5 лет. Инвестором выступает промышленная компания «Сибантрацит», осуществляющая подготовительные работы в окрестностях посёлка Северо-Муйск (район Восточного портала) [11].

Одним из наиболее проблемных мест, сдерживающих рост перевозок, множество экспертов полагает Северомуйский туннель. Сейчас имеется реальный инвестор, который готов начать строительство второго Северомуского туннеля за счет собственных средств, объем которых составляет порядка 60 миллиардов рублей, причем срок строительства составит 5 лет. Этот инвестор – компания «Сибантрацит», которой уже ведутся подготовительные работы в п. Северомуйск (Восточный портал) [11]. Однако, представленные Институтом экономики и развития транспорта оценки сильно различаются с теми, которые предложены «Сибантрацитом», а именно: стоимость строительства самого туннеля составит 190 млрд. рублей, а если принимать во внимание дефляторы и цены производителей, то к 2024 году стоимость строительства может стать более 260 млрд. рублей, в то время как сроки растянутся на период до 10 лет [12].

Вышеизложенный анализ пропускной (провозной) способности БАМа и Транссиба даёт возможность говорить о том, что оптимистический прогноз в среднесрочной и долгосрочной перспективах развития БАМа и Транссиба, разработанный отдельными экспертами, не принимает во внимание наиболее важные проблемы, уже существующие или могущие проявиться в будущие периоды и которые можно кратко охарактеризовать следующим образом:

1. Несомненно, осуществление транспортировки грузов контейнерного типа в направлении «восток – запад» имеют широкие перспективы в финансово-экономическом понимании, при этом потенциал их использования отличается и стратегическим, и тактическим характером. В качестве примера можно привести данные, что к 2024 году количество контейнерных грузов составит 1,7 млн единиц, это существенно увеличит федеральный бюджет. Кроме того, можно заметить, что перевозка грузов из Северо-Восточной Азии в Европу железнодорожным способом занимает меньше времени, чем ее реализация водным («морским») путём (с применением «южного» маршрута), но при этом себестоимость перевозки морским путём гораздо ниже. На данный момент весьма проблематично произвести точные прогностические расчёты, касающиеся перспективного развития контейнерной транспортировки в направле-

нии БАМа и Транссиба, но при этом необходимо отметить наличие факторов, тормозящих их развитие:

– для закрепления своего присутствия в Арктическом регионе России необходимо развивать Северный морской путь грузоперевозок, что составляет прямую конкуренцию таковым по БАМу и Транссибу;

– в последние годы Китай активно развивает собственный железнодорожный транспорт, в том числе и в Северо-Западных регионах, граница которых проходит вплотную к Среднеазиатским республикам бывшего СССР [14]. Политика Китая, касающаяся развития железнодорожной сети в Северо-Западных регионах, окажет влияние на снижение китайской части контейнерных перевозок по БАМу и Транссибу, причём руководство Китая утверждает, что данный подход продиктован исключительно экономическими, а не политическими целями [15].

2. Планируемые на краткосрочную перспективу перевозки по БАМу уже в ближайшее время могут привести к дефициту электроэнергии. Поскольку изначально БАМ строился в спешке, это привело к строительству ЛЭП 220 кВ от Усть-Кута до п. Таксимо несмотря на то, что на этих расстояниях нужно было возводить ЛЭП 500 кВ, что, однако, значительно затормозило бы процесс строительства. В настоящий период времени анализируется возможность возведения ЛЭП 500 кВ до п. Нижнеангарск, находящегося на севере озера Байкал, однако о сроках начала строительства пока никакой информации нет. Также необходимо отметить, что дефицит электроэнергии в рамках зоны электрической тяги БАМа (до п. Таксимо) является незначительным и локальным.

3. Решение о возведении второго Северо-Муйского туннеля, которое уже принято, будет претворяться в жизнь на фоне ряда проблем, которые имели место во время строительства первого Северо-Муйского туннеля и не решены до сих пор. Соответственно, нужно проведение детальной квалифицированной экспертизы предложения «Сибантрацита» о возможности строительства второго Северо-Муйского туннеля за пятилетний срок.

4. Среди перечисленных выше «узких» мест БАМа отсутствует анализ одного из наиболее значимых проблемных мест, которое неизбежно будет представлять собой наиболее значимое препятствие к увеличению пропускной способности БАМа в долгосрочной и, вероятно, среднесрочной перспективе (5-10 лет). Таким препятствием может стать плотина БрГЭС.

Основная особенность данной проблемы такова: Проект БрГЭС, созданный ещё в 1951 году, предусматривал, что на гребне плотины будет построена дорога, по которой сможет перемещаться только автомобиль-

ный и гужевой транспорт, причём проектная мощность не превышала 1-3 тысяч транспортных средств за сутки. Отдельный автодорожный мост через Ангару в нижнем бьефе ГЭС решено было не возводить, поскольку такое сооружение было бы слишком дорогим, а транспортные потоки в тот период времени были минимальными. Однако, уже в 2015 году в отдельные периоды максимальной загрузки число автомобилей, пересекающих плотину, составляло более 20 тысяч в сутки [18]. Кроме того, вдоль гребня данной плотины наблюдается высокая степень транспортной нагрузки, особенно это касается железнодорожных перевозок в обоих направлениях. Отмеченные выше обстоятельства негативным образом сказываются на объёме протечки воды в теле плотины, данная проблема неоднократно освещалась в систематических исследованиях, выполненных научными сотрудниками ВНИИ гидроэнергетики имени Б. Е. Веденеева. Локальное мероприятие, которое было реализовано для модернизации пути по плотине, а именно: переход на бесстыковое рельсовое сочленение, не привело к решению проблемы. Причём одной из причин того, что проблема БрГЭС до сих пор не решена, можно назвать тот факт, что финансовые ресурсы, которые могли бы быть потрачены на этот проект, используются для финансирования других значительных проектов, например: ВСТО, Крымский мост, «Сила Сибири», «Сила Сибири-2», «Северный поток-2» и т.д.

Заключение

1. В первую очередь необходимо отметить значительное возрастание интенсивности реализации планов, касающихся «Восточного полигона» после того, как было обнародовано послание Президента РФ Федеральному собранию в 2018 г., частью которого являлась постановка задачи доведения пропускной способности БАМа и Транссиба до 180–240 млн. т. к 2024 году. С достаточно высокой долей вероятности можно утверждать достижимость выдвинутых требований к указанному сроку.

2. Несмотря на ряд официальных заявлений, отсутствует практическая реализация планов модернизации БАМа и Транссиба, направленных на укрепление социально-экономического развития Восточных регионов РФ и в особенности тех, которые прилегают к БАМу. Основные усилия прилагаются в сфере экспортных поставок природных ресурсов в Северо-Восточную Азию и в сфере трансроссийских контейнерных перевозок с Дальнего Востока в Европу.

3. В самые короткие сроки необходимо принятие конструктивных решений, касающихся устранения отрицательных последствий интенсивного трафика по гребню плотины БрГЭС, которые пока не обсуждались на уровне государства. Затягивание сроков решения вышеназван-

ной проблемы может в ближайшем будущем довести ситуацию до техногенной аварии, последствия которой будут очень серьёзными.

4. Для того чтобы достичь реального экономического эффекта от достижения целей и задач, отражённых в «Восточном полигоне», нужен глубокий анализ результатов смены приоритетов политики РФ в восточном направлении. В первую очередь необходимо оценить объёмы экспорта природных ресурсов, равно как и объёмы контейнерных перевозок в рамках среднесрочной (10 лет) и долгосрочной (30 лет) перспектив, что, в свою очередь, находится в прямой зависимости от целого комплекса факторов, включая планы развития транспортных систем приграничных государств, а также планы, касающиеся энергетической политики государств Юго-Восточной Азии (экологические проблемы, балансы ТЭК) и т.д.

Библиографический список

1. Путин рассказал, как изменится пропускная способность БАМа и Транссиба. – РИА Новости. – 01.03.2018. – URL : https://ria.ru/20180301/1515524560.html. [обращение 13.04.2020]. – Текст. Изображение. Устная речь: электронные.

2. Кокорева, М. «РЖД пообещали ускорить на год модернизацию БАМа и Транссиба / М. Кокорева, С. Бурмистрова. – РБК. – 10.02.2020. – URL : https://www.rbk.ru/business/10/02/2020/ [обращение 13.04.2020]. – Текст. Изображение. Устная речь: электронные.

3. Восточный полигон – Транссиб и БАМ. – URL : http://cargo.rzd.ru/static/public/ru/accessible?STRUCTURE [обращение 25.02.2020]. – Текст. Изображение. Устная речь: электронные.

4. Здесь творили историю. Чем живут и на что надеются участники стройки века – БАМа // Огонек : журнал. – № 25 (5570) от 01.07.2019 г. – URL : https://www.kommersant.ru/4012606?from=doc_vrez [обращение 25.02.2020]. – Текст : электронный.

5. Бляхер, Л. Трудности освоения. Как задумывался «проект БАМ» и почему в нем не всё срослось / Л. Бляхер. – URL : https://www.kommersant.ru/40135287?from=doc_vrez [обращение 25.02.2020]. – Текст : электронный.

6. Зачем России новый БАМ? // Комсомольская правда : сайт. – 27.09.2016 г. – URL : https://www.irk.kp.ru/daily/26586/3602541/ [обращение 13.04.2020]. – Текст : электронный.

7. Эксперты: спрос на грузоперевозки по Транссибу и БАМу опережают их развитие // ТАСС : сайт. – 18.06.2018. – URL :

https://tass.ru/ekonomika/5300574 [обращение 13.01.2020]. – Текст : электронный.

8. Мизова, Ю. Электрификация Байкало-Амурской магистрали и Транссиба позволит РЖД экономить миллиарды / Ю. Мизова. – ХАКАСИЯ, республиканское ИНТЕРНЕТ-издание. – 07.02.2019 г. – URL : http://gazeta19.ru/index.php/v-rossii-imire/item/22626-elektrifikacija. [обращение 20.06.2020]. – Текст : электронный.

9. Об утверждении Перечня видов деятельности, запрещённых в центральной экологической зоне Байкальской природной территории : Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 г. № 2399. – Текст : непосредственный.

10. ОАО РЖД потребовалась мобильная энергия // Коммерсантъ : газета. – 17.12.2019 г. – URL : https://www.kommersant.ru/doc4197783 [обращение 21.06.2020]. – Текст : электронный.

11. Кучеров, Н. Модернизация БАМа и Транссиба окупится с лихвой. Ритм Евразии. Евразийская интеграция. 22.07.2019 г. / Н. Кучеров. – URL : https://www.ritmeurasia.org/news-2019-07-22-modernizacija [обращение 21.06.2020]. – Текст : электронный.

12. Билет в тоннель оказался дорог // Коммерсантъ : газета. – № 217 от 26.11.2018 г. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/3811630 [обращение 13.01.2020]. – Текст : электронный.

13. Президент Путин поставил БАМу и Транссибу новые «провозные цели» // LOGIRUS Логистика в России. 20.02.2019 г. – URL : http://logirus.ru/news/transport/prezident_putin_postavil-bamu-i,,, [обращение 14.04.2020]. – Текст : электронный.

14. Как Китай захватывает мир при помощи железной дороги. – URL : https://novate.ru/blogs/230115/29712 [обращение 22.06.2020]. – Текст : электронный.

15. Окно в Европу: как Китай запустил новый «Шелковый путь» в обход России // Политика, 15.12.2015 г. – URL : https://www.rbc.ru/politics/15/12/2015/ [обращение 13.08.2020]. – Текст : электронный.

16. Очередное землетрясение произошло рядом с Северомуйским тоннелем БАМ // ИНТЕРФАКС, Россия, 05.09.2018 г. – URL : http://www.interfax-russia.ru/Siberia/print.asp?id=963053& [обращение 13.08.2020]. – Текст : электронный.

17. Скальский, А. Поезда, идущие по плотине Братской ГЭС, угрожают безопасности конструкций / А. Скальский. – URL : https://www.babr24.com/irk/?IDE=83067 [обращение 15.09.2020]. – Текст : электронный.

18. «Иркутскэнерго» просит вынести с плотины Братской ГЭС авто- и железную дороги // ТАСС. 04.08.2015 г. – URL : https://tass.ru/ekonomika/2162885 [обращение 15.09.2020]. – Текст : электронный.

19. Щербаков, Е. Противодействие силе воздействия / Е. Щербаков // Сибирский энергетик. 05.08.2016 г. – URL : http://www.vsp.ru/2016/08/05/protivodejstvie-sile-vozdejstviya/ [обращение 13.08.2020]. – Текст : электронный.

20. ОАО «РЖД» увеличило перевозки экспортных грузов по БАМу и Транссибу более чем на 6% в январе – июле 2020 г. // Грузовые перевозки. 14.08.2020 г. – URL : https://gudok/ru/news/ [обращение 21.11.2020]. – Текст : электронный.

21. Китай отказался от плохого российского угля // LENTA.RU экономика. 21.08.2020. – URL : https://lenta.ru/news/2020/08/21/coal/ [обращение 20.01.2021]. – Текст : электронный.

В.А. Подвербный, О.А. Гнездилова, П.Н. Холодов
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЛИВНЕВОГО СТОКА ПО ИНСТРУКЦИИ ВСН 63-76

Рассмотрена задача разработки программы расчета стока поверхностных вод в соответствии с действующим нормативным документом – Инструкцией по расчету ливневого стока воды с малых бассейнов – ВСН 63-76. В созданной программе LIV_STOK_VSN.xlsx удалось автоматизированы расчеты значений функции $[f(I_c)]^{0,4}$*, коэффициента* γ *и безразмерных параметров А и* λo*, что повысило точность и эффективность вычислений. Не удалось автоматизировать процедуру определения величин* a_1 *и* φ*. Выполнен тестовый расчет. Установлено, что расходы ливневого стока, рассчитанные в программе LIV_STOK_VSN.xlsx по инструкции ВСН 63-76, превышают расходы, определенные по номограммам по приближенной методике Союздорнии, на 28 %, что потребовало выполнить перерасчет водопропускного сооружения.*

Ключевые слова: автоматизация расчетов ливневого стока, инструкция ВСН 63-76.

Введение

Правильный расчет расходов поверхностного стока важен для проектирования водопропускных и водоотводных искусственных сооружений, обеспечивающих безопасность земляного полотна железных дорог [1−3].

В состав программного комплекса КРЕДО входит программа ГРИС, которая включает две автономные программы: ГРИС_С и ГРИС_Т [4].

В программе ГРИС_С могут быть определены ливневые расходы:

1) по формуле МАДИ/Союздорпроекта, в соответствии с инструкцией [5];
2) по редукционной формуле II СП 33-101-2003 [6];
3) по формуле предельной интенсивности III СП 33-101-2003 [6].

Расчетами определяются расходы для вероятностей превышения 0,1; 1; 2; 3; 5; 10; 25 %.

СП 33-101-2003 «Определение расчетных гидрологических характеристик» рекомендует для малых водосборов использовать расчет ливневого стока, пользуясь принципом предельных интенсивностей.

Способом расчета, основанном на этом принципе, является способ МАДИ/Союздорпроекта, в котором используются характеристики метеорологических факторов стока, установленные Союздорпроектом.

Программа ГРИС_С не всегда доступна студентам. И в таком случае в курсовом проектировании допустимо использовать приближенные методики расчета стока поверхностных вод, например, метод Союздорнии, разработанный Б.Ф. Перевозниковым [7].

Метод был реализован в виде номограмм; расчеты по номограммам малопроизводительны и неточны (погрешность может достигать 30 %). Программа STOK.xls, разработанная Г.Г. Ивановым, может использоваться только для расчета в 5 и 6 ливневых районах.

Поэтому перед авторами статьи встала задача – разработать программу в MSExel для расчета ливневого стока в соответствии с действующим нормативным документом – Инструкцией по расчету ливневого стока воды с малых бассейнов – ВСН 63-76 [8].

Разработка программы расчета ливневого стока по ВСН 63-76

На рис. 1 показан скриншот программы LIV_STOK_VSN – программы расчета расхода ливневого стока 1% вероятности превышения по инструкции ВСН 63-76.

В области «Исходные данные для расчета» проектировщик вносит все необходимые параметры бассейна, для которого определяется расход (рис. 2).

Для расчета безразмерной характеристики $A = \frac{60}{t_{co}}$ необходимо рассчитывать t_{co} – время, необходимое для установления полного стока на склонах бассейна при интенсивности водоотдачи a_1 = 0,5 мм/мин.

Для расчета t_{co} по табл. 1 прил. 3 из инструкции ВСН 63-76 определяется значение $[f(I_c)]^{0,4}$, при необходимости выполняется интерполяция.

Для того чтобы исключить этап табличного определения $[f(I_c)]^{0,4}$, повысить точность и эффективность расчетов была выполнена аппроксимация функции $[f(I_c)]^{0,4}$ = f (I_c) логарифмической функцией y = -1,484ln(x) + 17,713, при коэффициенте корреляции R^2 = 0,9594.

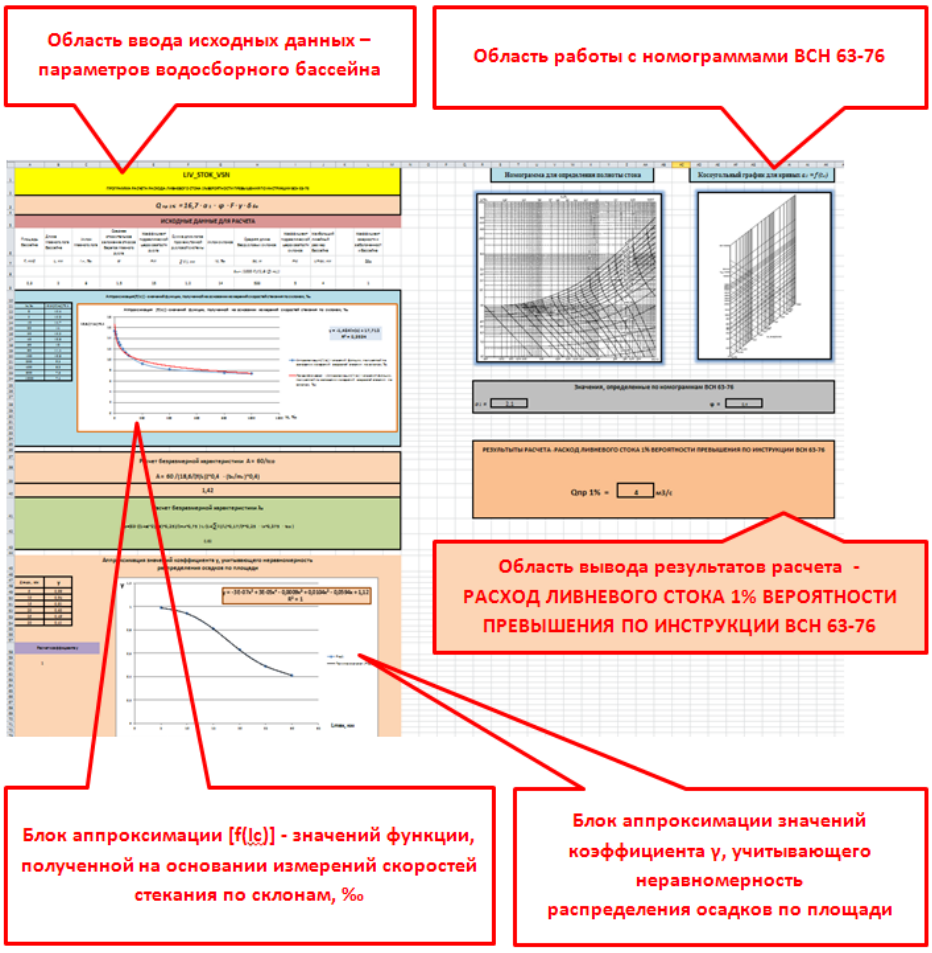


Рис. 1. Скриншот программы LIV_STOK_VSN.xlsx – программы расчета расхода ливневого стока 1% вероятности превышения по инструкции ВСН 63-76

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА										
Площадь бассейна	Длина главного лога бассейна	Уклон главного лога	Среднее относительное заложение откосов берегов главного русла	Коэффициент гидравлической шероховатости русла	Сумма длин логов промежуточной русловой системы	Уклон склонов	Средняя длина безрусловых склонов	Коэффициент гидравлической шероховатости склонов	Наибольший линейный размер бассейна	Коэффициент озерности и заболоченности бассейна
F, км2	L, км	$I_л$, ‰	α	$m_л$	$\sum l_i$, км	Ic, ‰	$b_c = (1000 \cdot F)/(1{,}8 \cdot (\sum l_i + L))$, м	m_c	L_{max}, км	$\delta_{‰}$
0,3	2	8	1,5	15	1,2	14	533	5	4	1

Рис. 2. Скриншот области «Исходные данные для расчета» программы LIV_STOK_VSN.xlsx

Высокое значение коэффициента корреляции R^2 говорит о том, что подобранная функция хорошо представляет исходные табличные значения (рис. 3).

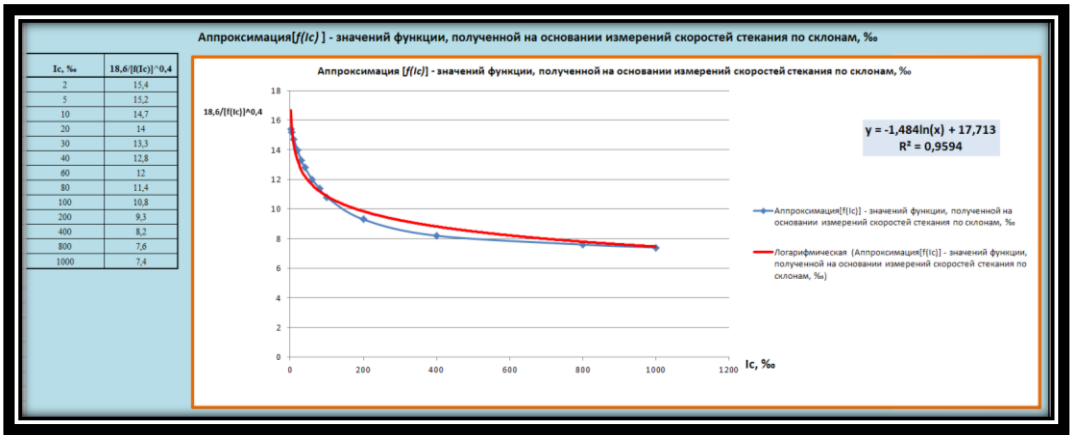


Рис. 3. Скриншот блока аппроксимации значений функции $[f(I_c)]^{0,4}$, полученной на основании измерений скоростей стекания по склонам

Процедуру определения величин a_1 и φ, изложенную в инструкции ВСН 63-76, не удалось автоматизировать. И проблема не столько в сложности самих графиков, представленных на номограммах, сколько именно в последовательности наложения и совмещения графиков и осей, после которых путем интерполяции проектировщик получает значения a_1 – расчетную интенсивность водоотдачи, мм/мин, и φ – коэффициент полноты стока.

Поэтому проектировщик должен выполнить эту процедуру вручную с использованием графических построений так, как это предлагается в пункте 2.5 инструкции ВСН 63-76, и ввести в обозначенные окна полученные им значения a_1 и φ (рис. 4).

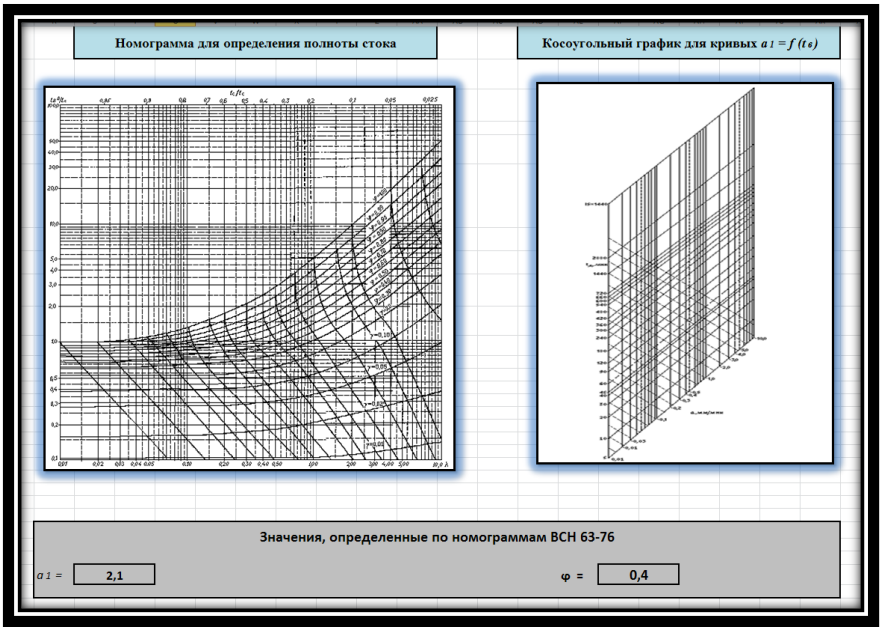


Рис. 4. Область работы с номограммами ВСН 63-76

Для автоматизации расчетов a_1 и φ необходимо знание аналитических зависимостей этих функций от исходных параметров, авторам их найти не удалось.

В программе LIV_STOK_VSN.xlsx выполнена аппроксимация значений коэффициента γ, учитывающего неравномерность распределения осадков по площади бассейна. Аппроксимация полиномом 6-й степени привела к идеальному результату, когда коэффициент корреляции равен 1,00.

Полученная функция 100 % точно отражает табличные значения, которые были приняты по ВСН 63-76:

y = -3E-07x5 + 3E-05x4 - 0,0009x3 + 0,0104x2 - 0,0594x + 1,12; при $R^2 = 1$.

На рис. 5 приведен скриншот блока аппроксимации значений коэффициента γ, учитывающего неравномерность распределения осадков по площади, полиномом 6-й степени.

Итоговый расчет расхода ливневого стока 1% вероятности превышения выполняется в соответствии с инструкцией ВСН 63-76 по формуле

$$Q_{\text{пр}} = 16{,}7 \cdot a_1 \cdot \varphi \cdot F \cdot \gamma \cdot \delta_{\text{бо}}, \qquad (1)$$

где a_1 – расчетная интенсивность водоотдачи, мм/мин, соответствует заданной вероятности превышения расхода и ливневому подрайону, определяемому по схеме ливневых подрайонов ВСН 63-76;

φ – коэффициент полноты стока;

F – площадь бассейна, км^2;

γ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения осадков по площади;

$\delta_{бо}$ – коэффициент озерности и заболоченности.

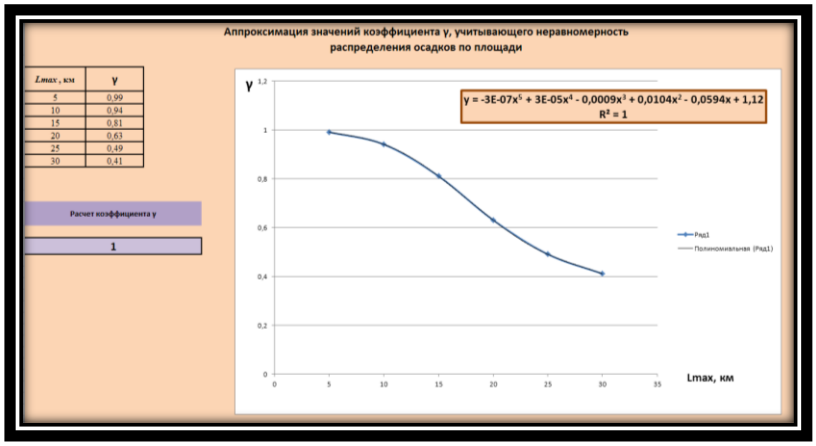


Рис. 5. Скриншот блока аппроксимации значений коэффициента γ, учитывающего неравномерность распределения осадков по площади

На рис. 6 показана область вывода результатов расчета.

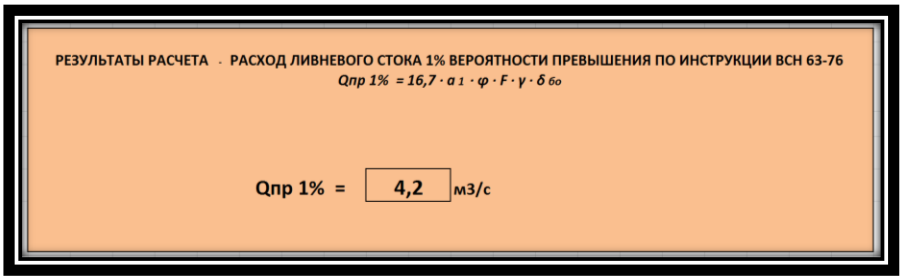


Рис. 6. Скриншот области вывода результатов расчета программы LIV_STOK_VSN.xlsx

Таким образом, разработанная программа позволяет примерно на 40 % освободить проектировщика от расчетов по таблицам, представленным в ВСН 63-76.

Однако трудоемкий этап определения a_1 – расчетной интенсивности водоотдачи и φ – коэффициента полноты стока, автоматизировать не удалось.

Тестовый пример расчета ливневого стока по инструкции ВСН 63-76

Исходные данные для расчета приведены в соответствии с тестовым вариантом трассы для одного ИССО, расположенного на ПК 250+00, круглой железобетонной трубы КЖБТ отв. 1х1,5 м, с максимальным подпором воды перед трубой H_{max} = 1,70 м. Высота насыпи по оси ИССО $h_н$ = 2,80 м.

Расходы ливневого стока первоначально были определенны приближенным методом по номограмме Союздорнии $Q_{1\%} = 3{,}3$ м^3/с; $Q_{0{,}33\%} = 4{,}6$ м^3/с.

Параметры бассейна:

– площадь бассейна $F = 0{,}3$ км^2;

– длина главного лога L = 2,0 км;

– уклон главного лога $I_л = 8{,}0$ ‰;

– среднее относительное заложение откосов берегов главного русла α = 1,5;

– коэффициент гидравлической шероховатости русла $m_л$ = 15;

– сумма длин логов промежуточной русловой системы $\sum l_i$ = 1,2 км;

– уклон склонов $I_с$ = 14 ‰;

– средняя длина безрусловых склонов $b_с$ = 533 м;

– коэффициент гидравлической шероховатости склонов $m_с$ = 5;

– наибольший линейный размер бассейна L_{max} = 4 км;

– коэффициент озерности и заболоченности бассейна $\delta_{бо}$ = 1,0.

С использованием разработанной программы LIV_STOK_VSN.xlsx был выполнен расчет по инструкции ВСН 63-76.

Результаты расчета: $Q_{1\%} = 4{,}2$ м^3/с; $Q_{0{,}33\%} = 5{,}8$ м^3/с. Превышение расходов, определенных по методике ВСН 63-76, над расходами, определенными по приближенной методике Союздорнии, составило 28 %.

Был выполнен перерасчет водопропускного сооружения, принята труба КЖБТ отв. 1х2,0 м, с максимальным подпором воды перед трубой H_{max} = 1,75 м, так чтобы не потребовалось перепроектирование продольного профиля.

Заключение

Рассмотрена задача разработки программы расчета ливневого стока в соответствии с действующим нормативным документом – Инструкцией по расчету ливневого стока воды с малых бассейнов – ВСН 63-76.

В созданной программе LIV_STOK_VSN.xlsx удалось автоматизировать за счет предварительной аппроксимации расчеты значений функ-

ции $[f(I_c)]^{0,4}$ и коэффициента γ, а также расчет безразмерных параметров А и λ_o, что повысило точность и эффективность вычислений.

Не удалось автоматизировать процедуру определения величин a_1 и φ, изложенную в инструкции ВСН 63-76, из-за отсутствия её аналитического или табличного представления.

После выполнения тестового примера был сделан вывод о том, что расходы, рассчитанные по инструкции ВСН 63-76, превышают расходы, определенные по приближенной методике Союздорнии, на 28 %, что потребовало перерасчета водопропускного сооружения. Вместо водопропускной трубы КЖБТ отв. 1х1,5 м была принята труба КЖБТ отв. 1х2,0 м, так, чтобы не перепроектировать продольный профиль на участке размещения трубы.

В целом, можно отметить, что в курсовом проектировании по учебным топографическим картам масштаба 1:50 000, сложно определять большое количество дополнительных параметров бассейнов, необходимых для расчета стока по инструкции ВСН 63-76. В таких условиях можно порекомендовать выполнять расчеты расходов притока не по ВСН 63-76, а по приближенной методике Союздорнии (метод Б.Ф. Перевозникова).

Программу расчета LIV_STOK_VSN.xlsx целесообразно использовать на кафедре «СЖДМТ» ИрГУПС в дипломном проектировании.

Следует подчеркнуть, что расчеты ливневого стока имеют большое значение в проектировании железных дорог на всех этапах, так как позволяют выполнить многокритериальную оптимизацию вариантов проектируемой линии [9].

Библиографический список

1. Холодов, П. Н. Расчет водоотводных и нагорных канав / П. Н. Холодов, В. А. Подвербный, Д. А. Ковенькин, Е. В. Филатов // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сборник научных трудов под редакцией А. В. Никитина. – Хабаровск : Издательство ДВГУПС, 2020. – Вып. 8. – С. 45–56. – Текст : непосредственный.

2. Подвербный, В. А. Выбор варианта проектного решения по укреплению от размыва песчаного откоса в полосе отвода железнодорожной линии на основе критерия многомерной нечеткой полезности / В. А. Подвербный, Е. О. Гераськина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск : Издательство ИрГУПС. – 2017. – № 2 (54). – С. 155−162. – Текст : непосредственный.

3. Подвербный, В. А. Проектирование защитных сооружений на Восточно-Сибирской железной дороге / В. А. Подвербный, Е. В. Филатов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск : Издательство ИрГУПС. – 2012. – № 1 (33). – С. 236–243. – Текст : непосредственный.

4. ГРИС_С. Расчет стоков дождевых паводков и талых вод : справочное пособие. – Минск : Кредо-Диалог, 2006. – 46 с. – Текст : непосредственный.

5. Инструкция по расчету ливневого стока воды с малых бассейнов. ВСН 63-76 / Минтрансстрой. – Москва : Оргтрансстрой, 1976. – 104 с. – Текст : непосредственный.

6. Свод правил. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – Введ. 26.12.2003 – Москва : Госстрой России, 2004. – 73 с. – Текст : непосредственный.

7. Перевозников, Б. Ф. Расчеты максимального стока при проектировании дорожных сооружений / Б. Ф. Перевозников. – Москва : Транспорт, 1975. – 304 с. – Текст : непосредственный.

8. Инструкция по расчету ливневого стока воды с малых бассейнов. ВСН 63-76 / Минтрансстрой. – Москва : Оргтрансстрой, 1976. – 104 с. – Текст : непосредственный.

9. Подвербный, В. А. Проектирование линии легкого рельсового транспорта по направлению «Аэропорт Иркутск − аэропорт Иркутск-Новый («Усть-Орда») / В. А. Подвербный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск : Издательство ИрГУПС. – 2012. – № 1 (33). – С. 215−223. – Текст : непосредственный.

В.А. Подвербный, О.А. Гнездилова, П.Н. Холодов
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

РАСЧЕТ ВОДОБОЙНОГО КОЛОДЦА ПО МЕТОДИКЕ АКАДЕМИКА Е.А. ЗАМАРИНА

Показана важность и актуальность проблемы гашения энергии водного потока при выходе из быстротоков и канав. Рассмотрена методика академика Е.А. Замарина по расчету параметров водобойного колодца. Выполнен ручной тестовый расчет по данной методике. Проведено уточнение формулы, аппроксимирующей график зависимости критической глубины потока от удельного расхода $h_{\text{крит}} = f(q)$*, при бо-*

лее высоком значении критерия $R^2 = 0,9999$. Разработана программа RASCHET_KOLODZA.xlsx, с помощью которой рассчитан водобойный колодец по двум методикам: по методике расчета энергии потока и по методике академика Е.А. Замарина. Проведено сравнение с расчетом по программе 2018 года и приняты итоговые параметры колодца с вертикальной стенкой падения высотой 2,00 м: глубина колодца − 2,00 м, длина колодца − 11,00 м.

Ключевые слова: расчет водобойного колодца, методика академика Е.А. Замарина, водные потоки, русло

Введение

Проектирование водоотводных и нагорных канав, подходных и водоотводных русел у водопропускных сооружений на железных дорогах является задачей, от правильного решения которой зависит сохранность искусственных сооружений и земляного полотна железных дорог, предотвращение размыва и эрозии склонов и откосов [1].

Водные потоки зачастую обладают большими скоростями течения воды. Именно поэтому для них устраивают искусственные русла. Искусственные русла предотвращают размыв естественных русел и тем самым обеспечивают нормальный вход воды в отверстия искусственных сооружений [2].

Кроме подходных русел устраивают также и искусственные водоотводные русла, которые отводят воду и гасят энергию водного потока на выходе из отверстия искусственного сооружения.

Быстроток – это искусственное русло с уклоном, больше критического, и с бурным режимом движения жидкости [3].

По очертанию продольного профиля искусственные русла разделяют на быстротоки и перепады, которые отличаются условиями движения воды.

Искусственные русла, в которых движение воды происходит без отрыва от сооружения на всем пути, называются быстротоки.

Искусственные русла, в которых движение воды происходит с отрывом от сооружения на части пути, называются перепадами.

Перепады могут проектироваться одноступенчатыми или многоступенчатыми. Нередко в конце перепадов размещают водобойные колодцы.

В конце быстротоков также обычно проектируют успокоители в виде водобойного колодца или водобойной стенки [4].

В отдельных случаях применяют комбинации сооружений, состоящие из быстротока, перепадов и колодцев.

Быстротоки строят монолитными (бетонными) или сборными (железобетонными, композитными). Деревянные и металлические быстротоки применяют редко из-за их возможного разрушения в результате загнивания древесины и коррозии металла. Каменные быстротоки долговечны, но трудоемки в строительстве.

Следует отметить важность правильного проектирования водобойных колодцев.

Колодцы, устраиваемые на входе, защищают входные оголовки и отверстия косогорных водопропускных трубы от сильного воздействия водного потока, от их разрушения, они снижают энергию водного потока и плавно вводят его в отверстие трубы.

Колодцы, размещаемые на выходе из труб и колодцы, проектируемые на выходе нагорных канав для последующего сброса воды «на рельеф» и дальнейшего её стекания по земной поверхности, защищают грунты от размыва, и совместно с креплением выходных русел и другими гасителями энергии водного потока предотвращают размыв грунтов и оврагообразование [5].

Таким образом, проблема гашения энергии водного потока является актуальной и значимой по своим возможным последствиям.

Необходимо правильно рассчитывать параметры всех водоотводных сооружений и водобойных колодцев в том числе.

Расчет водобойного колодца по методике академика Е.А. Замарина

Задачей проектирования является правильный расчет следующих параметров водобойного колодца на подводном русле − размеров колодца с обеспечением необходимого отношения между высотой стенки падения, длиной колодца и глубиной колодца.

При падении водного потока в колодец образуется прыжок воды. Правильный подбор параметров водобойного колодца будет обеспечивать гашение энергии водного потока за счет затопления прыжка воды.

На стадии обоснования инвестиций в строительство допускается использовать методику академика Е.А. Замарина, по которой размеры водобойных колодцев получаются несколько иными, чем по обычным расчетам, но достаточными для сохранной и надежной работы сооружения [2].

Методика академика Е.А. Замарина включает четыре этапа расчета.

Этап 1.

Определяют сжатую глубину потока $h_{сж}$, м, по формуле (1):

$$h_{сж} = \frac{q}{\varphi \times \sqrt{2 \times g \times \left(h_0 + \frac{v_п^2}{2 \times g} + p\right)}}, \quad (1)$$

где q – удельный расход, или расход воды на единицу ширины потока, м^3/(с·м); м^2/с;

h_0 – установившаяся нормальная глубина потока в быстротоке (при равномерном движении воды), м;

$v_п$ – скорость потока воды у стены падения, м/с;

p – высота стенки падения колодца, м;

φ – коэффициент скорости;

g – ускорение свободного падения, $g = 9{,}81$ м/с^2.

Значения коэффициента скорости φ принимаются по Таблице.

Таблица

Значения коэффициента скорости φ в зависимости от высоты стены падения колодца p

Высота стенки падения p, м	1	2	3	4	5	6
Коэффициент скорости φ	0,97	0,95	0,91	0,88	0,86	0,85

Этап 2.

Определяют сопряженную глубину потока h'', м, по формуле (2):

$$h'' = \frac{h_{сж}}{2} \times \sqrt{1 + \frac{8{,}8 \times q^2}{g \times h_{сж}^3}}. \quad (2)$$

Этап 3.

Определяют глубину водобойного колодца $d_{кол}$, м, по формуле (3):

$$d_{кол} = 1.05 \times h'' - h_{крит}, \quad (3)$$

где $h_{крит}$ – критическая глубина потока, м, определяется по графику зависимости $h_{крит}$ = f (q).

Этап 4.

Определяют длину водобойного колодца $l_{кол}$, м, по формуле (4):

$$l_{кол} = v_{п} \times \sqrt{\frac{2 \times p + h_0}{g}} + 3{,}2 \times h''. \qquad (4)$$

Ранее, в 2018 году, была решена задача расчета параметров водобойного колодца с вертикальной стенкой падения в соответствии с методикой расчета энергии потока на пороге колодца [6].

Следует отметить, что методика включает в себя этап графического определения отдельных параметров.

Например, на рис. 1 приведен график зависимости $h_{крит}$ = f (q), применяемый для определения критической глубины потока в зависимости от удельного расхода.

Для значения расхода воды на единицу ширины потока $q = 2{,}3$ м^3/(с·м) критическая глубина равна $h_{крит}$ = 0,85 м.

Для автоматизированного расчета параметров водобойного колодца в 2018 году была разработана программа в MSExcel KOLODEZ_APPROKSIM.xlsx [7].

На рис. 2 показан скриншот фрагмента программы с видом аппроксимированной функции графика $h_{крит}$ = f (q).

Наилучшие значения параметра достоверности аппроксимации R^2 были получены для полинома 6-й степени, они приведены на графике.

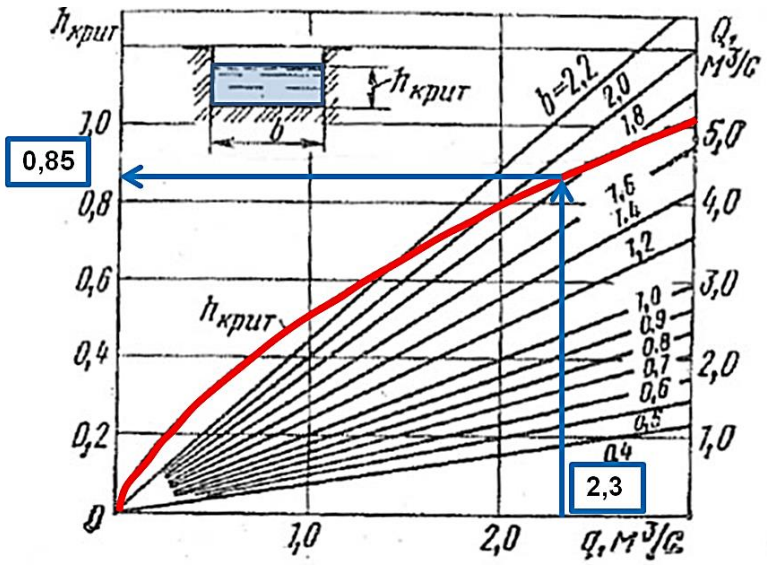


Рис. 1. Определение критической глубины потока $h_{крит}$ = 0,85 м по графику зависимости $h_{крит}$ = f (q) для q = 2,3 м^3/(с·м)

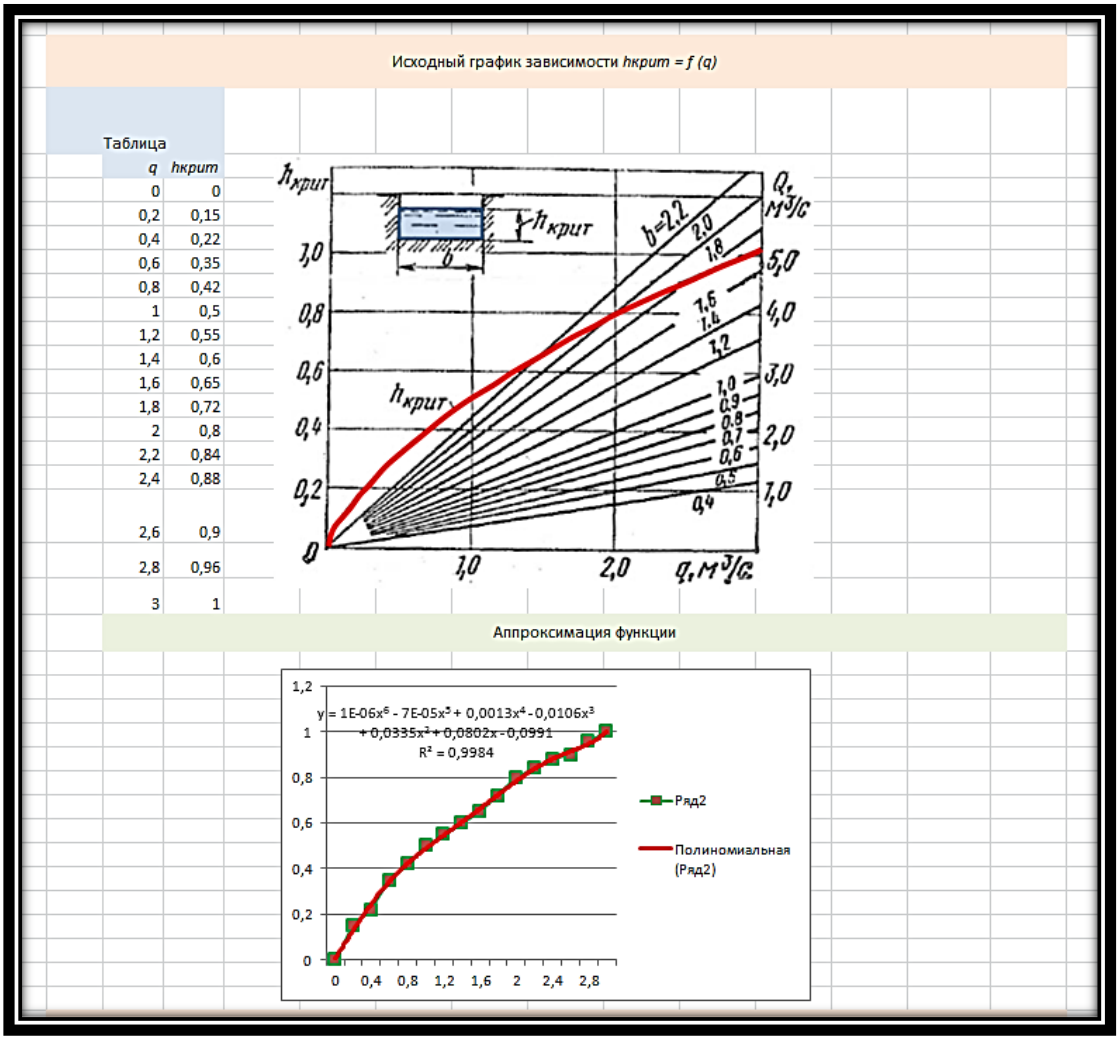


Рис. 2. Скриншот программы KOLODEZ_APPROKSIM.xlsx с подпрограммой аппроксимации графика $h_{крит}$ = f (q)

На рис. 3 представлена исходная кривая $h_{крит}$ = f (q) (Ряд 2), построенная по 16 точкам (линия с маркерами), и график полинома 6-й степени, наиболее приближенный к исходному графику (красная линия).

В результате аппроксимации была получена формула полинома

y = 1E-06x6 - 7E-05x5 + 0,0013x4 - 0,0106x3 + 0,0335x2 + 0,0802x - 0,0991, при значении критерия R^2 = 0,9984, где x = q, y = $h_{крит}$.

В настоящей статье разработанная ранее программа KOLODEZ_APPROKSIM.xlsx усовершенствована путем дополнения подпрограммы расчета параметров водобойного колодца по методике академика Е.А. Замарина.

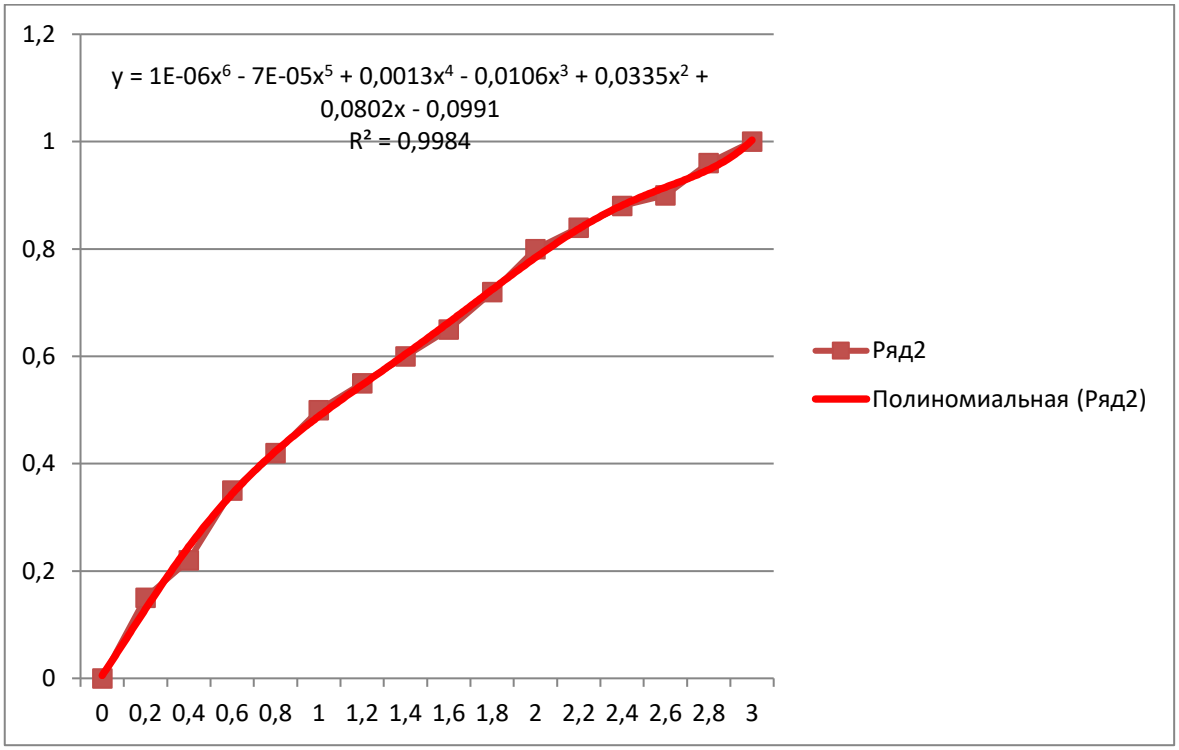


Рис. 3. График исходной кривой $h_{крит}$ = f (q)
и график полинома 6-й степени (красная линия)

Тестовый пример расчета

Исходные параметры проектирования водобойного колодца со стенкой падения приняты такими же, как в работах [6, 7]:

- максимальный расход притекающей воды Q_{max} = 4,6 м^3/с;
- ширина лотка прямоугольного сечения принята равной b = 2,00 м;
- скорость потока у стены падения $v_п = 5{,}00$ м/с;
- коэффициент скорости $\varphi = 0{,}95$;
- глубина потока у стены падения $h_п = 0{,}7$ м;
- расход воды на единицу ширины потока $q = 2{,}3$ м^2/с;
- высота стены падения $p = 2{,}00$ м.

Одинаковые исходные данные приняты для того, чтобы обеспечить сопоставимость расчетов 2018 года и сегодняшних расчетов, то есть для сравнения результатов расчета.

Выполним расчет по методике академика Е.А. Замарина.

Этап 1.

Определяем сжатую глубину потока $h_{сж}$, м, при значении коэффициента скорости $\varphi = 0{,}95$, принятом по Таблице при высоте стенки падения p = 2,00 м, по формуле (1):

$$h_{сж} = \frac{q}{\varphi \times \sqrt{2 \times g \times \left(h_0 + \frac{v_п^2}{2 \times g} + p\right)}} = \frac{2{,}3}{0{,}95 \times \sqrt{2 \times 9{,}81 \times \left(0{,}70 + \frac{5{,}00^2}{2 \times 9{,}81} + 2{,}00\right)}} = 0{,}27 \text{ м}.$$

Этап 2.

Определяем сопряженную глубину потока h'', м, по формуле (2):

$$h'' = \frac{h_{сж}}{2} \times \sqrt{1 + \frac{8{,}8 \times q^2}{g \times h_{сж}^3}} = \frac{0{,}27}{2} \times \sqrt{1 + \frac{8{,}8 \times 2{,}3^2}{9{,}81 \times 0{,}27^3}} = 2{,}10 \text{ м}.$$

Этап 3.

Определяем глубину водобойного колодца $d_{кол}$, м, по формуле (3).

Значение критической глубины потока $h_{крит}$ = 0,85 м примем по графику зависимости $h_{крит}$ = f (q), приведенному на рис. 1, для $q = 2{,}3$ м^2/с

$$d_{кол} = 1{,}05 \times h'' - h_{крит}$$
$$= 1{,}05 \times 2{,}10 - 0{,}85 = 1{,}36 \text{ м}.$$

Этап 4.

Определяем длину водобойного колодца $l_{кол}$, м, по формуле (4):

$$l_{кол} = v_п \times \sqrt{\frac{2 \times p + h_0}{g}} + 3{,}2 \times h'' = 5{,}00 \times \sqrt{\frac{2 \times 2{,}00 + 0{,}7}{9{,}81}} + 3{,}2 \times 2{,}10 = 10{,}20 \text{ м}.$$

Поставленная задача решена.

Сравним рассчитанные параметры колодца по двум методикам:

– по методике расчета энергии потока $d_{кол} = 1{,}00$ м; $l_{кол} = 11{,}00$ м;

– по методике академика Е.А. Замарина $d_{кол} = 1{,}36$ м; $l_{кол} = 10{,}20$ м.

Может быть сделан вывод о том, что результаты расчета по двум методикам достаточно близки.

Далее была выполнена автоматизация расчета по методике академика Е.А. Замарина.

Программа расчета водобойного колодца RASCHET_KOLODZA.xlsx

При разработке программы RASCHET_KOLODZA.xlsx использована методика академика Е.А. Замарина, преимуществом которой является простота и малое число расчётных формул. Хотя при автоматизации расчёта такой «выигрыш» практически незаметен.

Методика включает всего 4 этапа расчёта, которые были рассмотрены выше. Также выше был выполнен тестовый ручной расчёт по данной методике.

Был сделан вывод о хорошей сопоставимости результатов расчета по двум методикам.

Таким образом, программа RASCHET_KOLODZA.xlsx, представляемая в данной статье, является совершенствованием ранее разработанной программы KOLODEZ_APPROKSIM.xlsx.

Совершенствование заключается в том, что была добавлена подпрограмма расчета по методике академика Е.А. Замарина и уточнена аппроксимация кривой $h_{крит}$ = f (q).

Пользователю предоставляется выбор методики расчёта. В любом случае выбор остаётся за инженером-проектировщиком.

Общий вид программы представлен на рис. 4.

Программа разбита на 4 области:

- область исходных данных;
- область аппроксимации;
- область результатов расчета по методике энергии потока;
- область результатов расчета по методике академика Е.А. Замарина.

В области расчета по методике академика Е.А. Замарина (правая ветвь программы) приведены на рис. 5:

- таблица исходных данных;
- вспомогательная таблица для выбора коэффициента скорости;
- четыре этапа расчета;
- новый график аппроксимации зависимости $h_{крит}$ = f (q).

Ранее в результате аппроксимации была получена формула полинома:

y = 1E-06x6 - 7E-05x5 + 0,0013x4 - 0,0106x3 + 0,0335x2 + 0,0802x - 0,0991, при значении критерия R^2 = 0,9984, где x = q, y = $h_{крит}$.

Такое значение R^2 = 0,9984 было признано недостаточным и в данной работе проведена новая уточненная аппроксимация и получена новая формула полинома:

y = -3E-07x6 + 2E-05x5 - 0,0005x4 + 0,0064x3 - 0,0446x2 + 0,2408x - 0,2009, при более высоком значении критерия R^2 = 0,9999.

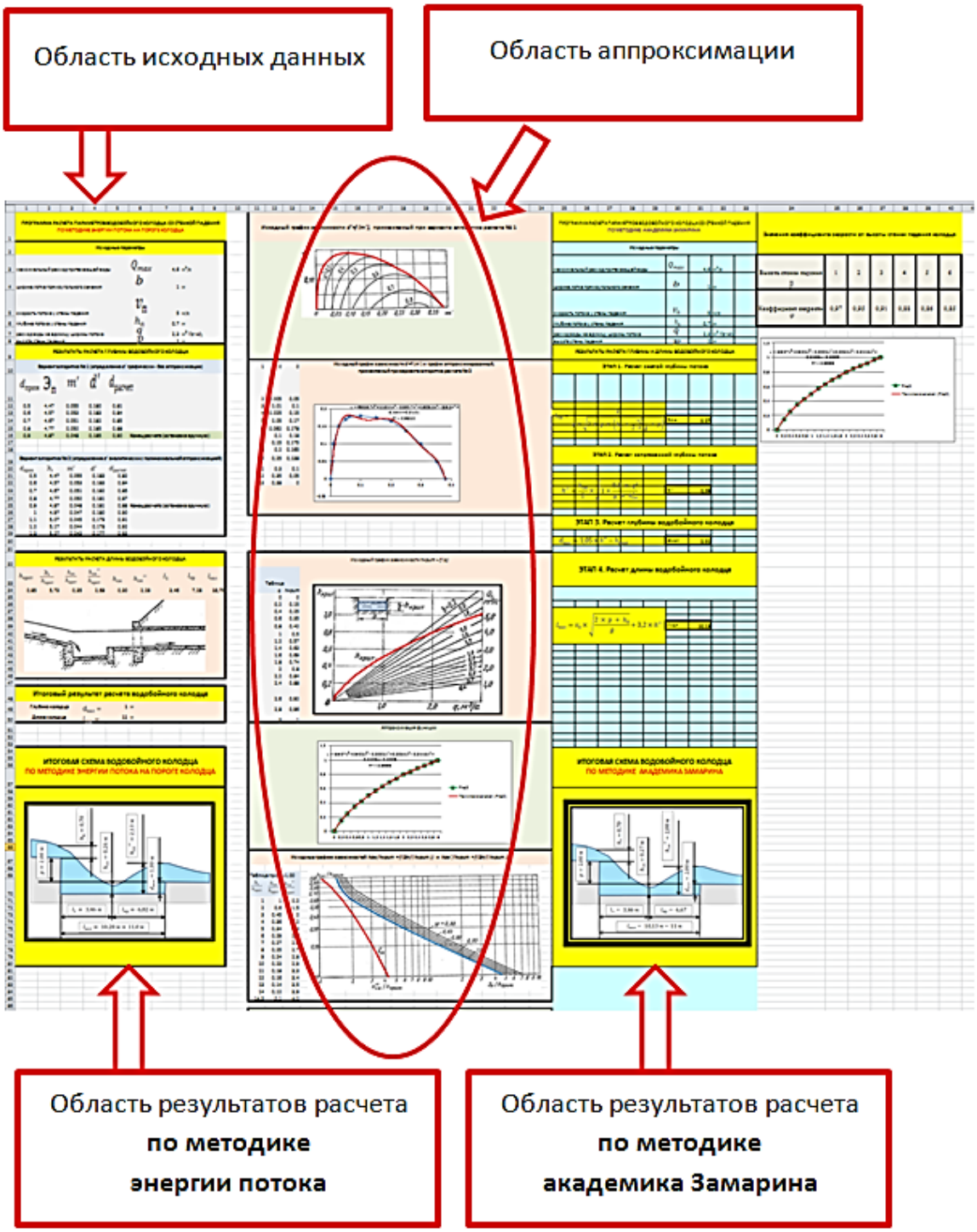
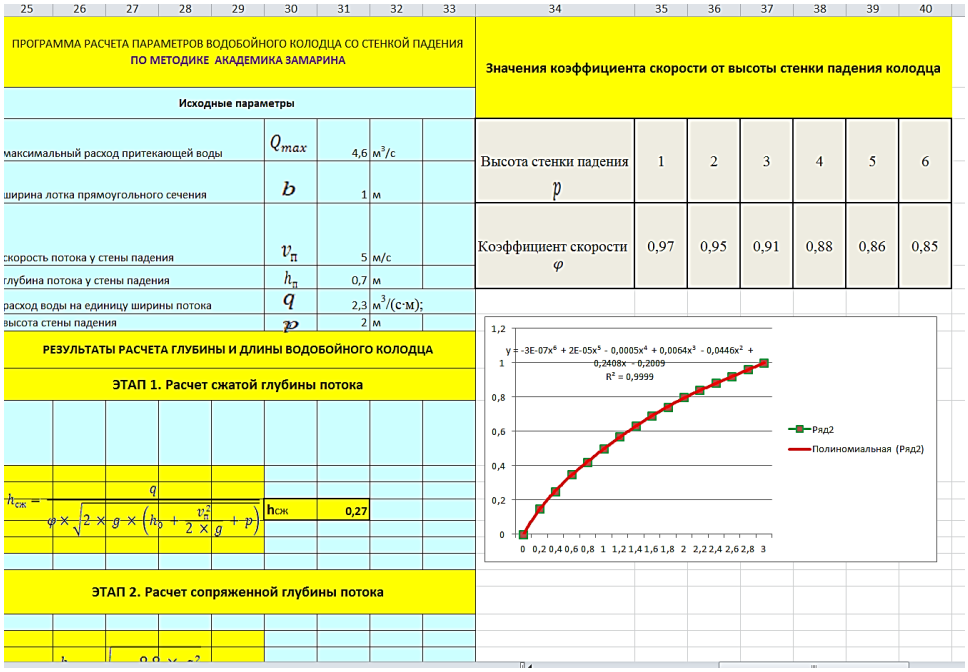


Рис. 4. Общий вид программы RASCHET_KOLODZA.xlsx



ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВОДОБОЙНОГО КОЛОДЦА СО СТЕНКОЙ ПАДЕНИЯ ПО МЕТОДИКЕ АКАДЕМИКА ЗАМАРИНА

Исходные параметры

максимальный расход притекающей воды	Q_{max}	4,6	м³/с
ширина лотка прямоугольного сечения	b	1	м
скорость потока у стены падения	$v_п$	5	м/с
глубина потока у стены падения	$h_п$	0,7	м
расход воды на единицу ширины потока	q	2,3	м³/(с·м);
высота стены падения	p	2	м

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ГЛУБИНЫ И ДЛИНЫ ВОДОБОЙНОГО КОЛОДЦА

ЭТАП 1. Расчет сжатой глубины потока

$$h_{сж} = \frac{q}{\varphi \times \sqrt{2 \times g \times \left(h_5 + \frac{v_п^2}{2 \times g} + p\right)}}$$

hсж 0,27

ЭТАП 2. Расчет сопряженной глубины потока

Значения коэффициента скорости от высоты стенки падения колодца

Высота стенки падения p	1	2	3	4	5	6
Коэффициент скорости φ	0,97	0,95	0,91	0,88	0,86	0,85

Рис. 5. Область расчета по методике академика Е.А. Замарина – правая ветвь программы RASCHET_KOLODZA.xlsx

График функции показан на рис. 6.

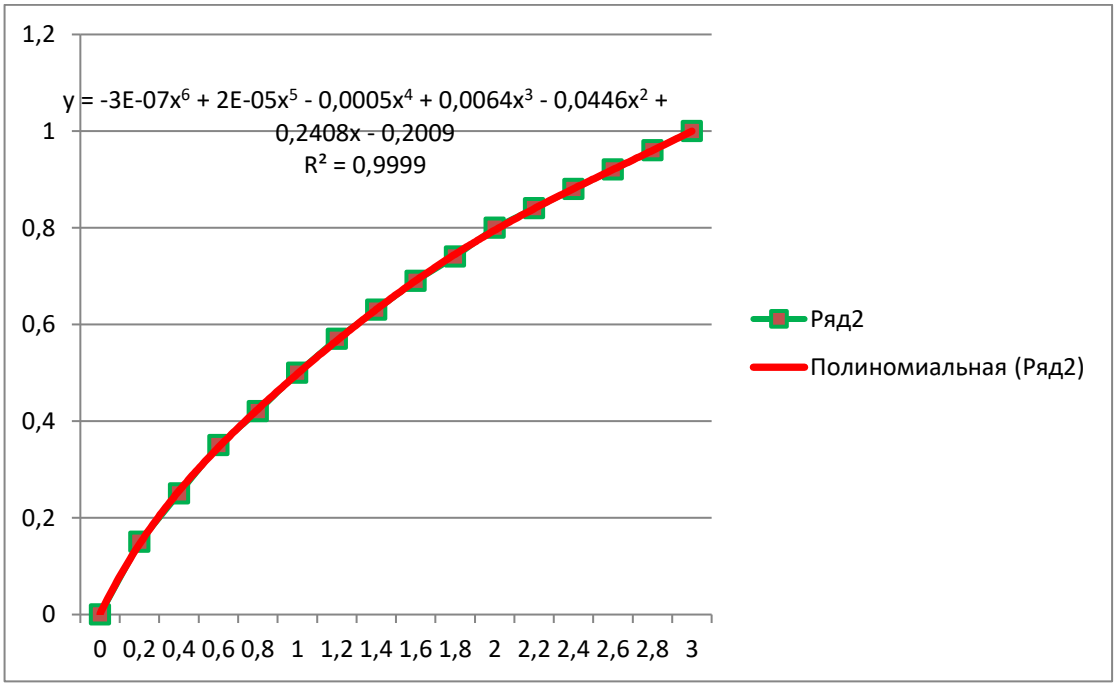


Рис. 6. График исходной кривой $h_{крит}$ = f (q)
и график уточненного полинома 6-й степени (красная линия)

Результат расчета по программе по методике академика Е.А. Замарина отличается от ручного расчета и от ранее полученных размеров колодца.

Принимая во внимание важность такого сооружения как водобойный колодец для предохранения от размыва и обеспечения надежной эксплуатации водопропускного сооружения и земляного полотна, было решено принять размеры колодца по выполненному расчету, как показано на рис. 7.

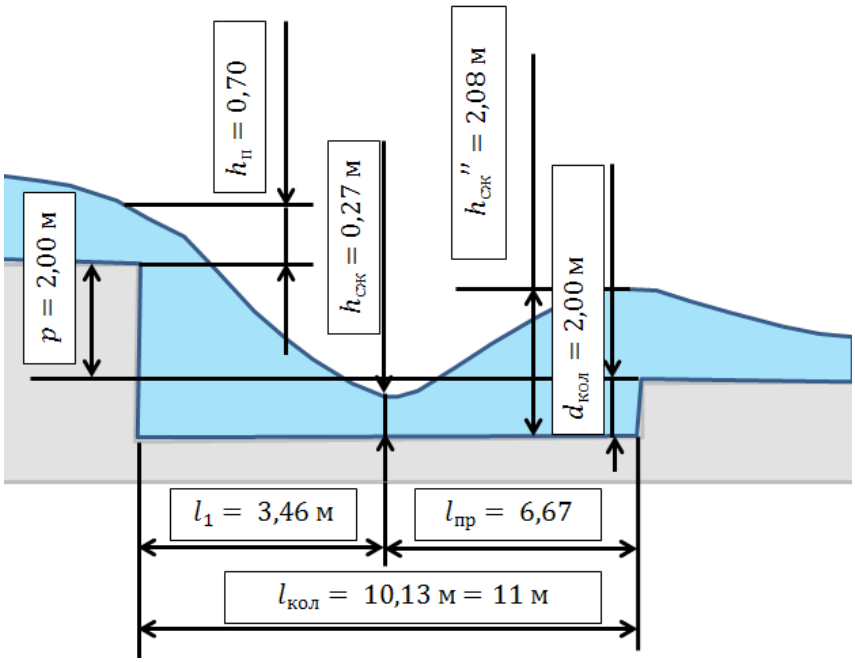


Рис. 7. Результаты расчета проектных параметров колодца по методике академика Е.А. Замарина в программе RASCHET_KOLODZA.xlsx

Сравним рассчитанные параметры колодца:

– по методике расчета энергии потока с учетом старой аппроксимации зависимости $h_{крит} = f(q)$: $d_{кол} = 1{,}00$ м; $l_{кол} = 11{,}00$ м;

– вручную по методике академика Е.А. Замарина с учетом старой аппроксимации зависимости $h_{крит} = f(q)$: $d_{кол} = 1{,}36$ м; $l_{кол} = 10{,}20$ м;

– в программе RASCHET_KOLODZA.xlsx по методике академика Е.А. Замарина с учетом новой уточненной аппроксимации зависимости $h_{крит} = f(q)$: $d_{кол} = 2{,}00$ м; $l_{кол} = 10{,}13$ м.

Было принято решение – запроектировать водобойный колодец с вертикальной стенкой падения высотой 2,00 м с глубиной колодца 2,00 м и длиной колодца 11,00 м.

Выводы

Показана важность и актуальность проблемы гашения энергии водного потока при выходе из быстротоков и канав.

Рассмотрена методика академика Е.А. Замарина по расчету параметров водобойного колодца. Выполнен ручной тестовый расчет по данной методике.

Проведено уточнение формулы, аппроксимирующей график зависимости критической глубины потока от удельного расхода $h_{крит}$ = f (q), при более высоком значении критерия R^2 = 0,9999.

Разработана программа RASCHET_KOLODZA.xlsx, с помощью которой рассчитан водобойный колодец по двум методикам: по методике расчета энергии потока и по методике академика Е.А. Замарина.

Проведено сравнение с расчетом по программе 2018 года и приняты итоговые параметры колодца с вертикальной стенкой падения высотой 2,00 м: глубина колодца − 2,00 м, длина колодца − 11,00 м.

Значение правильного расчета водобойных колодцев трудно переоценить, так как его результаты влияют на выбор проектных решений на участках размывов песчаных откосов на Транссибирской магистрали [8], и на участках крутых склонов с устройством быстротоков на Кругобайкальской железной дороге [9].

Библиографический список

1. Холодов, П. Н. Расчет водоотводных и нагорных канав / П. Н. Холодов, В. А. Подвербный, Д. А. Ковенькин, Е. В. Филатов // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сборник научных трудов под редакцией А. В. Никитина. – Хабаровск : Издательство ДВГУПС, 2020. – Вып. 8. – С. 45–56. – Текст : непосредственный.

2. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений и русел. – Москва : ГипротрансТЭИ МПС СССР, 1967. – 168 с. – Текст : непосредственный.

3. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений / ВНИИ транспортного строительства (ЦНИИС), Главное управление проектирования и капитального строительства (ГУПиКС) Минтрансстроя СССР. – Москва : Транспорт, 1992. – 408 с. – Текст : непосредственный.

4. Рекомендации по гидравлическому расчету водобойных стенок и колодцев. П 80−93 / ВНИИГ / АО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева. – Санкт-Петербург : ВНИИГ, 1995. – 57 с. – Текст : непосредственный.

5. Толмачев, К. Х. Автомобильные дороги. Специальные сооружения : учебное пособие для вузов. – Москва : Транспорт, 1986. – 200 с. – Текст : непосредственный.

6. Расчет глубины водобойного колодца, сооружаемого на быстротоке / В. А. Подвербный, О. В. Подвербная, А. Л. Пачема // Наука и образование транспорту : материалы XI Международной научно-практической конференции, 25–26 октября 2018 г., г. Самара. – Самара : СамГУПС, 2018. – Том 2. − С. 153−159. – Текст : непосредственный.

7. Автоматизация расчета параметров водобойного колодца / В. А. Подвербный, О. В. Подвербная, А. Ф. Хайдаршин // Наука и образование транспорту : материалы XI Международной научно-практической конференции, 25–26 октября 2018 г., г. Самара. – Самара : СамГУПС, 2018. – Том 2. − С. 159−163. – Текст : непосредственный.

8. Подвербный, В. А. Выбор варианта проектного решения по укреплению от размыва песчаного откоса в полосе отвода железнодорожной линии на основе критерия многомерной нечеткой полезности / В. А. Подвербный, Е. О. Гераськина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск : Издательство ИрГУПС. – 2017. – № 2 (54). – С. 155−162. – Текст : непосредственный.

9. Проектирование трассы железной дороги на участке ВСЖД Гончарово – Слюдянка в программном комплексе INVEST / Е. О. Попова, О. Ю. Попов, В. А. Бучкин, В. А. Подвербный, О. В. Подвербная // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог : труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. − 2009. − С. 41−46. – Текст : непосредственный.

М.В. Феоктистова, С.С. Полищук, К.М. Титов
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

ВОССТАНОВЛЕНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ КРУГОБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В сентябре 2020 года уровень озера Байкала достиг рекордного максимума за последние 12 лет. Повышение уровня воды в Байкале грозит увеличению волнового воздействия на транссибирскую железную дорогу, жилую застройку и объекты инфраструктуры. Кругобайкаль-

ская железная дорога – памятник инженерного искусства длиной 94 км, который проходит вдоль южного берега озера. В данной статье приводится анализ берегоукрепительных сооружений для КБЖД, которые при дальнейшем повышение уровня озера не приведут к затоплению прибрежной территории и не нанесут ущерба биоресурсам.

Ключевые слова: защита береговых откосов, экологические зоны, каменная наброска, георешетки, габионные конструкции, монолитное покрытие, кругобайкальская железная дорога (КБЖД).

Берегоукрепительные сооружения – сооружения для защиты берегов водоёмов (озёр, рек, каналов, морей, и др.) от негативных природных факторов, к которым относятся разрушающие воздействия волн, течений, напора воды и льда. Данная защита должна исключать возможность разрушений (размывов) берегов и затоплений населённых пунктов, дорог, мостов, объектов промышленности, линий связи, ценных сельскохозяйственных и лесных угодий, исторических и культурных памятников. К основным требованиям, предъявляемым к сооружениям для защиты берегов относят:

– надёжность (долговечность) конструкций и эффективность работы;

– простота устройства;

– возможность максимального использования местных строительных материалов и проведения ремонтно-восстановительных работ,

– экономичность.

«Выбор комплекса сооружений и их типов зависит от рельефа берега, его гидрогеологического режима и геологического строения, а также проведенного анализа на основе технико-экономического сопоставления нескольких вариантов с удовлетворением экологических норм [1].» Берег Байкала на Кругобайкальской железной дороге показан на рис. 1. С одной стороны, скалы и прижимы, а с другой, холодные воды Байкала.

Рис. 1. Берег Байкала

В табл. 1 представлены основные виды берегоукрепительных сооружений для защиты от воды, которые подразделяются на активные и пассивные. Знание их основных особенностей позволяет инженеру-проектировщику грамотно подобрать вид берегоукрепительного сооружения в зависимости от решаемой задачи и особенностей рельефа местности.

Таблица 1

Виды берегоукрепительных сооружений по характеру взаимодействия с водным потоком

Активные	**Пассивные**
Используют энергию потока на работу по намыву и сохранению береговых наносов	Противопоставляют водному потоку только прочность и устойчивость своей конструкции
• наносозадерживающие буны • волноломы (волнорезы) • поперечные полузапруды • регулирующие дамбы • струенаправляющие щиты • искусственная посадка растений по берегам водотоков	• отсыпка камнем; • применения габионных конструкций; • использования геосот; • применения монолитных (бетонных, асфальтовых и иных) покрытий; • применения сборных железобетонных конструкций; • применения шпунтовых конструкций; применения гибких бетонных покрытий

К основным причинам образования волн относятся действие ветра, перепад атмосферного давления, приливные силы и другие факторы. От скорости и силы ветра, его длительности, разгона зависит высота волны. Рельеф Байкала представляет собой котловину, обрамленную горами. Вытянутость и температурный перепад озера и суши определили формирования четырёх основных ветров, которые делятся по поперечному и продольному направлениям.

На озере Байкал есть два периода за год, где волнение вод достигает своей наивысшей точки – первый (май–июнь), когда происходит вскрытие льда, а второй – в осенний период. Октябрь–декабрь – отмечается штормовой погодой с развитием волн до 5 метров, что является наиболее опасным временным отрезком. Волнение наблюдается почти непрерывно и развивается быстро. Байкальские ветра имеют ряд особенностей воздействия на образование волн. Нас интересует территория Южного Байкала, где располагается КБЖД. «Верховик» дует с севера (продольное направление) из долины реки Верхняя Ангара и образует значительное волнение у юго-восточной части побережья. Способен поднимая волны высотой до 4 метра. «Култук» дует с южной части Байкала в про-

дольном направлении, противоположном «Верховику». Култук несёт с собой мощные штормы, дожди и пасмурную погоду. «Баргузин» северо-восточный ветер дует в поперечном направлении, также способен достигать Южного Байкала. Столкновение трех разных по направлению волн образует сложное волнение, называемое «толчеи», появляется так называемая треугольная волна (рис. 2).

Рис. 2. Образование треугольной волны от встречи трёх ветров Байкала

«Байкальские волны обладают огромной разрушительной силой. Вдоль Кругобайкальской железной дороги волнами неоднократно разрушались мощные железобетонные берегоукрепительные сооружения [2].»

Серьезную опасность для инженерных сооружений представляют надвиги льда. Такое явление происходит из-за того, что весной талая вода заполняет трещины во льду и вновь замерзает. Трещины воспринимают и компенсируют температурные деформации, стабилизируют перемещения. Без них лёд становится монолитным и с усилением ветров начинает выжимается на берег, нанося повреждения всему что находится на пути. «На отдельных участках берегов, где происходит абразия ледниковых отложений, волны перемещали глыбы весом 4–6 т. Зафиксированы случаи, когда лёд способен выдвигаться на берег на расстояние 20–30 м, а при встрече с надежным препятствием – скалой, например, может подниматься на 15–16 м. В 1962 г. в южном Байкале наблюдали ледяные валы от надвигов высотой до 20–30 м. В 1933 г. такие нажимы льда перекрыли железнодорожное полотно около ст. Танхой и столкнули с рельсов товарный железнодорожный эшелон вместе с паровозом. Весной 1960 г. на судоверфи им. Ем. Ярославского ледокол «Ан-

гара» водоизмещением 1400 т был вытеснен льдом на береговую отмель. В этом же году в пос. Лиственичном и в порту Байкал надвигами разрушены причальные сооружения, а в бухте Сосновка при полном штиле подвижкой льда на берег вытеснились камни весом 5–6 т. [2].» Способом защиты от повреждения ледовыми надвигами является становая щель, представленная на рис. 3. Прорубленная щель во льду нужна для свободного смещения льда.

Рис. 3. Становая щель

При выборе берегоукрепительных сооружений помимо особенностей волнения вод и ледостава, технико-экономических характеристик сооружений, необходимо также принимать во внимание экологический статус Байкала. Нельзя допускать, чтобы вода озера загрязнялась, а берега разрушались. Федеральный закон «Об охране озера Байкал» содержит положения о том, что территория вокруг Байкала делится на 3 зоны: центральную, буферную зону и зону атмосферного влияния. Указанные зоны показаны на рис. 4. В каждой зоне были разрешены только определенные виды хозяйственной деятельности. Географическое расположение КБЖД обрамляет юг озера, и как видно из карты зонирования территории, находится на особо охраняемой территории, окрашенной оранжевым цветом. Охранные зоны предусмотрены, прежде всего, для сохранения ландшафта, исключая непродуманные воздействия на него. Это означает что строительство, реконструкция могут вестись только с разрешением экологической экспертизы. «Чрезмерные рекреационные и техногенные нагрузки не допустимы, новое строительство и восстанов-

ление старых сооружений должны соответствовать не только ведомственным требованиям ОАО «РЖД», но и общей природоохранной стратегии на берегах Байкала [3].»

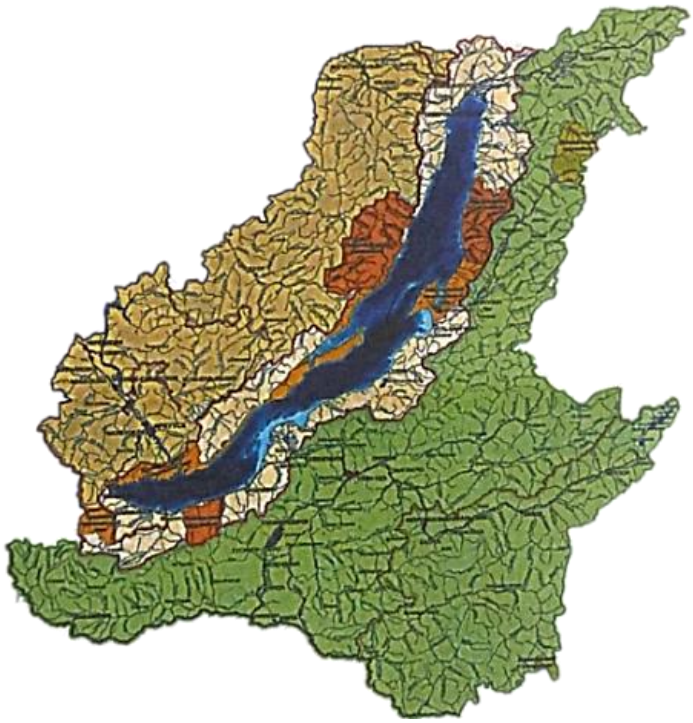


Рис. 4. Зонирование Байкальской природной территории

Варианты берегоукрепительных сооружений, их описание, достоинства и недостатки, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты берегоукрепительных сооружений

Вид берегоукрепительного сооружения. Краткое описание	Достоинства	Недостатки
Искусственная посадка влаголюбивых растений. Обязательное требование это выдерживание ярусной посадки: нижний ярус – тростник, камыш; средний – ива, осока или другие растения; верхний – лиственничные деревья Байкальского региона.	• корневая система представляет ячеистую сетку, снижающая интенсивность размыва; • использование местных влаголюбивых растений.	• относительная сложность осуществления ярусной посадки; • при неблагоприятных погодных условиях (увеличении высоты ветровой волны) возможно изменение береговой линии, что приведет к аварийной ситуации

Продолжение табл. 2

Вид берегоукрепительного сооружения. Краткое описание	Достоинства	Недостатки
• **Каменная наброска** (КН) с помощью рваного камня средних размеров (от 15 до 70 см). Обязательное наличие упорной призмы. Условия применения технологии КН: высота подводного откоса от 2 до 8 м; расчетная высота судовой волны – до 1 м; высота ветровой волны от 0,7 до 2 м; грунты откоса: песчаные и глинистые; толщина льда – до 1 м.	• не сложная технология выполнения строительных работ; • наличие местных строительных материалов (СМ).	• в зимний период камень вмерзается в лед, что может привести к отрыву водным потоком вмерзшего камня со льдом – КН будет разрушена; • КН может быть разрушена при высоте ветровой волны свыше 1,7 м.
• **Габионная конструкция (ГК)** – объемная сетчатая конструкция из проволоки заполненная камнем (см. рис. 5). • Форма ГК: – коробчатая; – матрацно-тюфячная; – цилиндрическая. Обязательное условие: проволока должна быть строго по ГОСТ.	• простота проведения строительно-монтажных работ; • наличие местных СМ.	• разрушение ГК при повышении уровня воды; • разрушение проволоки от нагрузок, отличных от фронтальных; • зацеп за ячейку сетки любого объекта переносимого водой; • воздействие на ГК льдин.
• **Георешетка** – сотовая структура, из пластиковых полос, скреплённых между собой сварными швами высокой прочности (см. рис. 6). • Ячейки каркаса заполняются СМ.	• простота проведения строительно-монтажных работ; • наличие местных СМ; • прочность «емкости для камня» георешетки намного превосходит прочность сетки ГК.	• отсутствие у георешетки дна может привести к аварийным ситуациям.
• **Монолитные бетонные подпорные стены (МБПС)** – представляют собой железобетонные подпорные стены	• наличие местных СМ; • высокая прочность; • долговечность; • морозостойкость; • хорошо вписываются в ландшафт; • не уменьшают крутизну заложения берегов.	• сложность проведения строительно-монтажных работ; • разрушение под действием подземных вод; • дорогостоящая система водоотвода.

Окончание табл. 2

Вид берегоукрепительного сооружения. Краткое описание	Достоинства	Недостатки
• **Сборные железобетонные конструкции (СЖБК)** (см. рис. 6) – представляют собой железобетонную плиту плиту.	• относительная сложность проведения строительно-монтажных работ; • относительная прочность; • долговечность; • морозостойкость; • наличие местных СМ.	• относительная дороговизна конструкции; • обязательное наличие нижнего упора для плиты; • сползание СЖБК под нагрузкой вниз по склону приводит к образованию щелей и зазоров; • образование каверн под плитами, что может привести к обрушению конструкции и созданию аварийных ситуаций.

Рис. 5. Повреждение габионных конструкций льдиной

Рис. 6. Заполнение георешетки щебнем (слева),
обрушение берегоукрепительного сооружения (справа)

При выборе берегоукрепительных сооружений для КБЖД также следует руководствоваться информацией о химическом составе воды озера, которая богатая растворенным кислородом. Это оказывают сильное коррозирующее воздействие на железо, что возможно является дополнительной причиной разрушения проволоки габионных конструкций. «Малое содержание CO_2 приводит к агрессивности воды Байкала к цементу и бетону. Эти обстоятельства необходимо учитывать при строительстве на Байкале различных инженерных и гидротехнических сооружений [2].» В таком случае **подпорные стены из буронабивных свай** не являются выигрышным вариантом защиты берегов Кругобайкальской дороги, которые к тому же очень восприимчивы к вмешательству и изменению рельефа.

Альтернативой буронабивным сваям являются **бревенчатые сваи**, показанные на рис. 7, изготовленные из твердой породы дерева, например, из лиственницы или дуба. Большую надежность и прочность имеет восточносибирская лиственница. Находясь в воде, может сохранять свои свойства в течение полувека. Берег, обрамленный ошкуренными лиственничными стволами, имеет отличный эстетический вид. Также, с визуальной и эстетической точки зрения бетонные укрепительные сооружения проигрывают деревянным сваям. Со временем древесина может потемнеть, что ухудшит декоративные качества берегоукрепительного сооружения. Скорость потемнения бревен зависит от количества органики в воде. Но вода Байкала по своему химическому составу бедна биогенными элементами и органическими веществами. «Насыщенность вод озера кислородом способствует развитию организмов на всех глубинах, включая максимальные, а также интенсифицирует процессы разрушения органического вещества и другие окислительные процессы. Это обстоятельство выгодно отличает Байкал от некоторых других озер и приводит к тому, что в его водах не происходит в больших количествах накопление органического вещества [2].» Что замедлит потемнение древесины.

Защита бревенчатыми сваями предлагается для отделки берегов, где находятся привокзальные площади, зоны паровозов, набережные, смотровые площадки, туристические и пикниковые зоны вдоль железной дороги, в рамках концепции развития поселка Порт Байкал и КБЖД. Данная концепция должна поспособствовать развитию качественной туристической инфраструктуры и благоустройству пристанционных территорий. На сегодняшний день, по приблизительным оценкам, туристический поток на территорию поселка Порт Байкал составляет 24 тыс. человек в год. Средняя продолжительность пребывания – один день. Одна из

целей концепции развития Порта Байкал – увеличить туристический поток до 75 тыс. человек в год, а также увеличить срок пребывания туриста на территории поселка.

Рис. 7. Укрепление берега деревянными сваями

Несомненно, КБЖД является уникальным памятником инженерного зодчества. Она практически прижата к скальным крутым откосам в узких глубоких долинах вдоль берега Байкала и поэтому, защита береговых откосов данной дороги является приоритетной задачей.

Проанализировав достоинства и недостатки разных видов берегоукрепительных сооружений, режим волнения вод и ледостава, химический состав воды и экологический статус озера, наиболее перспективными технологиями, на наш взгляд, является каменная наброска, георешетка и бревенчатые сваи. Камень и древесина являются экологичными строительными материалами, способными не только защитить берега водоемов от разрушения, но и придать им эстетическую привлекательность.

Библиографический список

1. СП 32-104-98. Проектирование земляного полотна железных дорог. Защита и укрепление земляного полотна и водоотводных сооружений. – Текст : непосредственный.

2. Беркин, Н. С. Байкаловедение : учебное пособие / Н. С. Беркин, А. А. Макаров, О. Т. Русинек. – Иркутск : Издательство Иркутского государственного университета, 2009. – 291 с. – Текст : непосредственный.

3. Об охране озера Байкал. Основные положения : федеральный закон от 01.05.1999 № 94-фз (ред. от 01.05.2022). – URL : https://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-01.05.1999-N-94-FZ/ (дата обращения: 2.11.2022). – Текст : электронный.

4. Марков, Д. П. Гидротехническое строительство. Берегоукрепительные сооружения : учеб. пособие / Д. П. Марков. – Москва : 2018. – 241 с. – Текст : непосредственный.

Д.В. Черезова, Н.С. Логинов
Читинский техникум железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

УСИЛЕНИЕ И ПРОДОЛЖЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ МОСТОВОГО ПОЛОТНА МЕТОДОМ УКЛАДКИ ПЛИТ БМП И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С РАСЧЁТОМ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

В статье рассматривается применение композитных плит без балластного мостового полотна, их типы, достоинства и недостатки, а также первое их применение на Российских железных дорогах. Описывается строение композитных плит и материалы, из которых они изготавливаются. Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью увеличения сроков службы мостового полотна, его усиления и повышения прочности с помощью усовершенствования высокопрочных материалов, которые используются при железнодорожном строительстве.

Ключевые слова: безбалластное мостовое полотно, плита композитная, металлические плиты, путеукладочный кран, железнодорожные мосты, композит, укладка, строение плиты.

Плита композитная безбалластного мостового полотна – по своим характеристикам, выступает в роли древесного дорожного бруса, либо плиты или шпалы, какие используются в железнодорожных мостовых системах.

Плита безбалластного мостового полотна, а именно металлическая, проезжей части мостов на железной дороге, представляет собой гори-

зонтально расположенный металлический лист, который имеет толщину 12 мм, длина его 1490 мм и ширина 2700 мм. В местах, где закрепляются рельсы, просверлены специальные отверстия для крепления рельсовых подкладок; для прикрепления контруголков и охранных уголков также имеются отверстия, которые просверлены. Опорная конструкция, которая прикрепляется к данному листу, располагается под поперечными осями рельсовых подкладок, она служит нижним поясом плиты. Эта конструкция представляет собой вертикально расположенные, изготовленные из металлического листа, ребра, у которых толщина составляет 12 мм, а длинна их 2700 мм. Снизу приварены, перпендикулярно этим ребрам, горизонтально расположенные листы.

Горизонтально расположенные листы, приварены к ребрам, в зонах, где крепится рельс и над зонами, где находятся главные балки мостового полотна. Нижний пояс безбалластных плит мостового полотна крепится к главным балкам пролетного строения моста, в результате сверления снизу, балок верхнего пояса и нижнего пояса главных балок безбалластных плит мостового полотна.

Металлические плиты, представляют собой два элемента, которые между собой соединены путем сварки. Нижний пояс металлической плиты крепится к верхнему поясу металлических балок при помощи высокопрочных болтов. Из-за того, что рассматриваемые плиты имеют стандартную ширину 2700 мм для всех имеющихся расстояний между основными балками, появляется возможность применения путеукладочного крана. Этот кран осуществляет укладку рельсошпальной решетки длинной 25 метров со шпалами, ширина которых 2700 мм.

Путеукладочный кран применяют не только для укладки рельсошпальной решетки, но и для транспортировки горизонтально расположенных металлических плит и их укладки в количестве 17 штук, общий вес которых составляет не более 18 тонн, с рельсами стандартной длины.

Если между плитами, которые расположены по соседству, имеются швы, то особой необходимости для их заделки нет. Для того, чтобы продлить срок эксплуатации, металлические плиты достаточно окрасить, либо оцинковать.

Все вышеперечисленное даст возможность существенно уменьшить трудозатратную деятельность по монтажу плит, снизить срок строительства и стоимость, повысить качество постройки и улучшить внешний облик сооружения, увеличить период эксплуатации вплоть до 70–100 лет приблизительно.

Когда начинается укладка плит на мост, соблюдается расстояние между осями металлических балок от 180 до 250 см. При производстве композитных плит безбалластного мостового полотна используют тяжелый бетон, класс прочности на сжатие которого составляет от В40 до В60. По морозостойкости марка бетона составляет не ниже F200.

Рассматривая расстояние вдоль пути, плиты БМП делятся на 4 типа:

1) Плита БМП представляет тип П1, имеющий длину вдоль пути 1390 мм;

2) Плита БМП представляет тип П2, имеющий длину вдоль пути 1490 мм;

3) Плита БМП представляет тип П3, имеющий длину вдоль пути 1890 мм;

4) Плита БМП представляет тип П4, имеющий длину вдоль пути 1990 мм.

Свое применение плиты БМП нашли на железнодорожных мостах, которые построены в различных климатических условиях, например таких, как:

1) Умеренный климат – к нему относятся районы, у которых средняя температура наружного воздуха, наиболее холодного из месяцев, составляет минус 10 градусов;

2) Арктические условия – к ним относятся районы, у которых средняя температура наружного воздуха, наиболее холодного из месяцев, составляет не ниже 10 градусов до минус 20 градусов включительно.

Композитные плиты мостового безбалластного полотна устраняют все недостатки железобетонных плит, а также металлических поперечен, по той причине, что их производят по высоте с размерами, которые учитывают при укладки железнодорожного пути в проектное положение на определенном пролетном строении моста, но уже без прокладок.

Свое первое применение композитные плиты получили в начале 70-х годов. Специалисты института Ленгипротрансмост, разработали первый проект плиты в 1961 году. Свое массовое распространение плиты обрели уже в конце 80-х годов, они начали использоваться при модернизации старых и при строительстве вновь новых железнодорожных мостов.

Над разработанным продуктом компания РЖД проводила испытания с 2015 года. В октябре 2018 года в Калининградской области произвели первую укладку плит на двух металлических мостах, и она была удачной. Эта укладка подразумевала замену деревянных шпал на новые композитные плиты безбалластного полотна. Чуть позже, ближе к 2019 году, по состоянию плит провели наблюдения, которые выявили высокое качество новой продукции.

Сравнивая вес плиты БМП и вес бетонной плиты, то плита БМП весит в три раза меньше. Это означало, что осуществлялась значительная экономия времени, энергоресурсов, денег. У плиты преобладает повышенная жесткость, и вследствие чего, величина прогиба при нагрузке составляет до 27 тс/ось. Так как композитный материал обладает высокой прочностью, чем эксплуатационные напряжения, наблюдается высокая надежность конструкции, что так необходимо.

Данные плиты прошли сертификацию ближе к концу 2018 года. Плитам из композитных материалов присвоили сертификат огнестойкости RE30 по ГОСТ 30247.0-94 и ГОСТ 30247.1-94, это обозначало, что данная плита может продержаться не менее 30 минут под действующей на нее нагрузкой. То есть, за это время может проехать поезд, по охваченному огню, мосту.

При сравнении композита с другими сталями, можно выделить его наименьшую жесткость, но при этом высокую прочность. Рассчитывая нагрузку, конструкция имеет более чем 10-кратный запас прочности.

К преимуществам композитных плит можно прибавить их применение для различной ширины путей без изменения внутренней конструкции. Именно это повышает их элитность в пограничных областях, где производят смену тележек с одной ширины пути на другую.

Библиографический список

1. Железнодорожный путь : учебник / под редакцией Е. С. Ашпиза. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2021. – 576 с. – Текст: электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. – URL : http://umczdt.ru/books/1193/265301/ (дата обращения: 20.10.2022). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

2. Крейнис, З. Л. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути : учебник / З. Л. Крейнис. – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. – 453 с. – URL : http://umczdt.ru/books/1193/230302/ – Загл. с экрана. – Текст: электронный

3. Новгородова, И. Б. МДК 03.02 Устройство искусственных сооружений : методическое пособие по проведению практических занятий / И. Б. Новгородова. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2021. – 116 с. – Текст: электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. – URL : http://umczdt.ru/books/1257/251323/. – Режим доступа : для авториз. пользователей.

А.И. Шестопалова, Н.С. Логинов
Читинский техникум железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОСУТОЧНЫХ ОКОН ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ПУТИ ПЕРВОГО УРОВНЯ

В статье рассматривается использование многосуточных окон при производстве капитального ремонта пути первого уровня, их преимущества и необходимость использования. Представлено описание изменения перегона с необходимостью корректировки графика движения поездов. Целью исследования является изучение преимущества многосуточных окон.

Ключевые слова: окно, перегон, график движения поездов.

Основным понятием оптимальной задачи при ремонте железнодорожного пути является назначение продолжительности «окна». «Окно» – это время, во время которого по перегону передвижение поездов прекращается. Железнодорожным перегоном является составляющая железнодорожной линии между смежными и раздельными пунктами. Раздельные пункты – это станции, разъезды, обгонные пункты. Окна для ремонтных и строительно-монтажных работ выполняются в светлое время суток.

«Окно» на перегоне влечет за собой остановку движения поездов протяженностью 150–200 километров, что дает право при минимальных потерях пропускной способности выполнять ремонтные и строительные работы комплексно всеми работниками. В полосе приостановления движения могут работать большее количество путевых машинных станций, осуществляющих капитальный и средний ремонт. В это же «окно» возможен одновременный капитальный ремонт контактной сети, устройств сигнализации, связи, а также различные строительные работы. Благодаря данной организации работ достигают большую экономию «окон», в связи с чем время занятия перегонов снижается.

Изменение перегона в период путевых работ вызывает потребность корректировки графика движения, при этом значительный сдвиг «ниток» требуется для сравнительно небольшого количества поездов.

Порядок корректировки графика на двух путных линиях движения грузовых поездов делится на: изменяемую и неизменяемую. В особенности графики передвижения поездов на ближайшие участки должны быть

договорены. В направлении, в котором поезда с ремонтируемого участка поступают на соседний участок.

Для участка, с которого поезда следуют на «окно», графики движения разумно производить корректировку лишь тогда, когда участковая станция, ограничивающая этот участок, не обеспечивает подход всех задержанных поездов. После корректировки график предоставляет возможность заполнение «окна» «пунктирными» расписаниями, которые не берут во внимание при определении показателей графика движения. Расписания могут использоваться для движения поездов в дни, когда «окно» не выполняется.

Бывает два способа выделения «окна» в период путевых работ на однопутных системах движения поездов. Первое – параллельное выделение «окна», на всех перегонах начало работ предусматривают в одно и то же время. Второй способ – это последовательное распределение, где «окно» сдвигают на величину продолжительности хода поезда в одном направлении на каждом последующем перегоне. В первом случае замена перегона влечет замену графиков для поездов, которые попадают в поле «окна». Для этого необходима разработка вариантных графиков движения для обоих направлений. В другом случае требуется замена для перемещения места работ расписаний поездов только одного направления. При последовательном расположении «окон» корректировка графика движения поездов проще, чем при параллельном.

«Окно» требуется для капитального ремонта первого уровня. Вместе с тем обеспечивается данное «окно» для проведения работ по выправлению контактной сети, линий электроснабжения, оборудования центра системы безопасности. Технологическое «окно» предоставляют для работ по текущему содержанию пути, устройств сигнализации, контактной сети, централизации и блокировки на двух путных линиях. «Окна» для капитального ремонта пути, обычно составляют 4–6 часов.

Преимущества использования многосуточных окон:

– закрытие перегона осуществляется один раз в течении нескольких суток, что дает возможность проводить ремонтные работы всеми рабочими занимая, занимая меньше времени;

– использование максимального количества комплекса машин на перегоне. В связи в большим объемом работ и протяженностью участка 5–6 км, дает возможность использовать большее количество щебня очистительных машин, так как их выработка при максимальной допустимой глубины очистки щебня не очень высокая;

– большая протяженность ремонтируемого участка. В многосуточное окно, план длины ремонтируемого участка в несколько раз больше чем в 10–12 часовые окна;

– смена машинистов и помощников железнодорожных строительных машин происходит непосредственно на рабочем месте, что значительно снижает время на простой машин без работы;

– расположение рабочих поездов может находиться на соседних станциях, что облегчает работу ДСП по выпуску хозяйственных поездов для производства работ. Расположение рабочих поездов на соседних станциях дает возможность выехать на закрытый перегон, на встречу друг другу в места, где производится зарядка машин.

– составление графика движения поездов для поездного диспетчера при пропуске поездов по одному пути, что обеспечивает возможность пропустить большее количество поездов перед планируемым многосуточным окном.

Библиографический список

1. Железнодорожный путь : учебник / под редакцией Е. С. Ашпиза. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2021. – 576 с. – Текст: электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. – URL : http://umczdt.ru/books/1193/265301/ (дата обращения: 20.10.2022). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

2. Крейнис, З. Л. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути : учебник / З. Л. Крейнис.– Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. – 453 с. – URL : http://umczdt.ru/books/1193/230302/ – Загл. с экрана. – Текст: электронный

3. Новгородова, И. Б. МДК 03.02 Устройство искусственных сооружений : методическое пособие по проведению практических занятий / И. Б. Новгородова. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2021. – 116 с. – Текст: электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. – URL : http://umczdt.ru/books/1257/251323/. – Режим доступа : для авториз. пользователей.

РАЗДЕЛ 3. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

М.В. Востриков, Е.А. Морозов, В.В. Фареныk
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

РОЛЬ УСТРОЙСТВ ФИЛЬТРАЦИИ И КОМПЕНСАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СТЭ УЧАСТКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

В статье рассматриваются вопросы компенсации избыточной реактивной мощности в системе тягового электроснабжения железной дороги переменного тока и вопросы снижения влияния высших гармонических составляющих тока и напряжения в питающей сети. Приведено исследование показателей качества электрической энергии на примере участка Забайкальской железной дороги Могзон – Карымская с помощью ПК «КОРТЭС и ПО MatLab. Результаты имитационного моделирования рассматриваемых режимов работы системы тягового электроснабжения и графика движения поездов с уверенностью позволяют говорить об эффективности применения устройств фильтрации и компенсации не только для компенсации избыточной реактивной мощности, но и для фильтрации высших гармонический составляющих тока и напряжения (соответствие требований ГОСТ 32144-2013).

Ключевые слова: реактивная мощность, устройство продольной компенсации, устройство параллельной компенсации, устройство фильтрации и компенсации, качество электрической энергии, показатели, система тягового электроснабжения, гармонические составляющие.

Если рассматривать ЭПС переменного тока в качестве приёмника электрической энергии, нужно разделять, как идет процесс активного и реактивного токопотребления. Активная составляющая расходуется на тягу электровоза для организации движения поезда. Реактивная составляющая расходуется на электрические и магнитные поля основного и вспомогательного оборудования электровоза. Чем больше вес поезда, тем больше активное и реактивное потребление электровоза.

Снижение реактивной мощности в тяговой сети называется компенсацией реактивной мощности. Существуют два пути снижения реактивного тока в тяговой сети:

– снижение потребления реактивной мощности приёмниками электрической энергии – электровозами;

– монтаж специальных устройств продольной и поперечной компенсации реактивной мощности.

Подбор мощности этих устройств зависит от схемы питания и секционирования участка, параметров режимов работы системы тягового электроснабжения (СТЭ) и др. [1]. В качестве оценочного средства эффективности применения продольной или поперечной компенсации в зависимости от поездной ситуации и режима работы СТЭ участка используют ПК «КОРТЭС» [2], однако в нем отсутствует возможность моделирования поездных ситуаций с возможностью выбора параметров (показателей) качества электрической энергии, влияющих на нормальные режимы работы электрооборудования.

ООО "НИИЭФА-ЭНЕРГО" производит линейку устройств, связанных не только с компенсацией реактивной мощности в тяговых сетях железных дорог, но и нормированием показателей качества электроэнергии (УФК, АКГ) [3, 4].

Исследования параметров качества электроэнергии было решено выполнить с использованием модели, разработанной в ПК MatLab (пакеты SIMULINK и SimPowersystems), которые содержат постоянно развиваемую и дополняемую библиотеку моделей объектов [5] с учетом существующих связей между СТЭ и СВЭ.

Для учета многообразия факторов, влияющих на текущую поездную ситуацию (профиль пути, класс напряжения, система электроснабжения и т.д.) рассмотрим перегон Могзон – Карымская ЗабЖД (рис. 1).

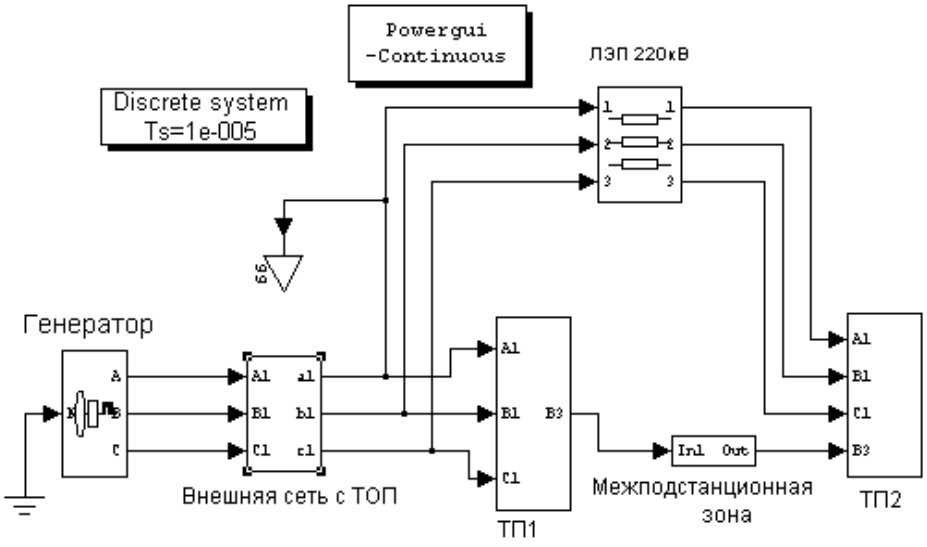


Рис. 1. Подсистема модели СТЭ участка железной дороги

Для учета ЛЭП необходимо учитывать длины и емкостные сопротивления ее участков таким образом, чтобы не попасть в резонанс по отдельным гармоникам (рис. 2).

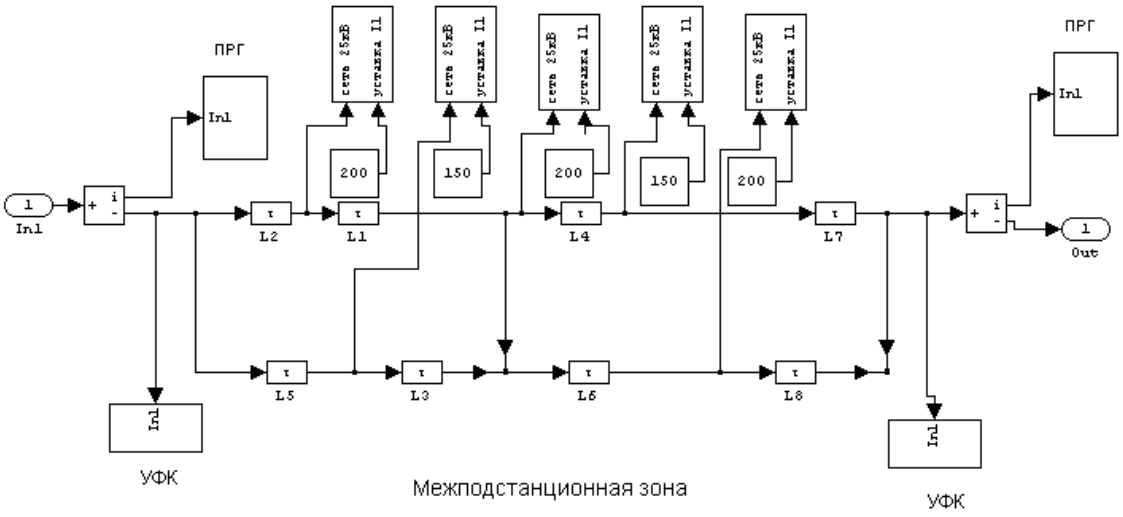


Рис. 2. Подсистема МПЗ, электровозов и УФК

В состав одиночной выпрямительной нагрузки электровоза входит однофазный преобразовательный трансформатор, выпрямитель/инвертор, работающий на основе автоматизированной системы, поддерживающей ток заданной величины (рис. 3).

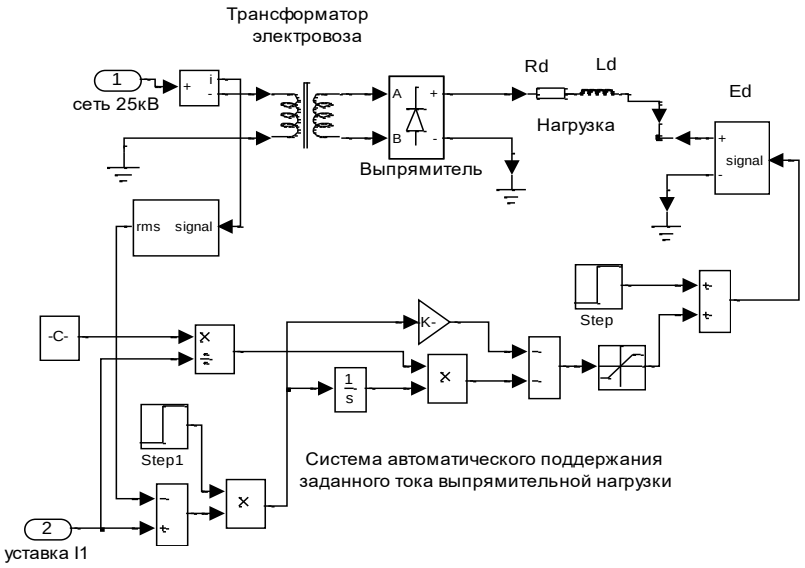


Рис. 3. Подсистема, имитирующая работу электровоза

В большинстве программ можно оперировать только линейными статическими нагрузками, а в SimPowersystems можно производить динамические расчеты, учитывающие нелинейных характер тяговой нагрузки (значения тока в контролируемых точках не фиксированы, а поддерживаются на требуемом уровне независимо от уровня напряжения).

В качестве исходной информации использовались результаты, полученные при моделирование поездной ситуации в ПК «КОРТЭС» [2] (в МПЗ между двумя ТП находятся по пять поездов, потребляющими токи по 133 А каждый).

Для расчета уровня влияний высших гармонических составляющих в элементах СТЭ в модель интегрирована подсистема расчета гармоник (ПРГ), представленную на рис. 4.

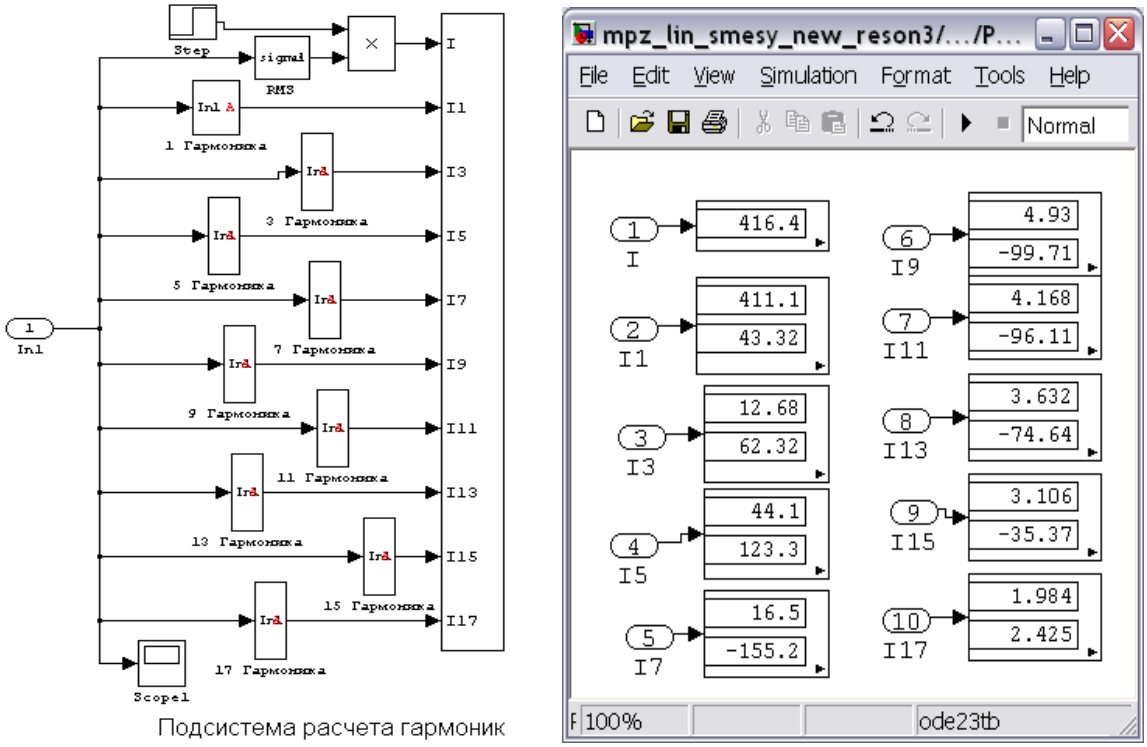
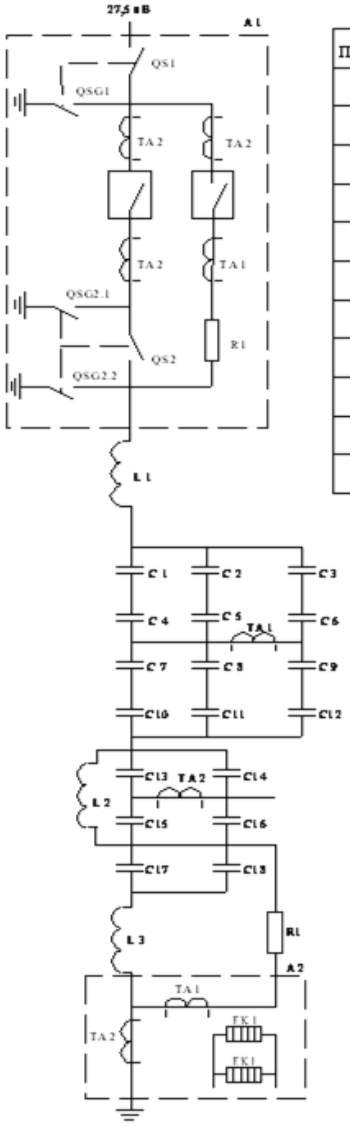


Рис. 4. Подсистема расчета гармоник и окно отображения

Конструктивно, в традиционной комплектации, УФК содержит: блок А1 (высоковольтные выключатели), блок L1 – L3 (индуктивное оборудование), блок С1 – С18 (конденсаторное оборудование, блок R1 (резисторы), блок-модуль А2 (управление, измерительные трансформаторы тока и напряжения).

Емкость (в виде батарей конденсаторов) С1 – С12 обеспечивает основную составляющую компенсации реактивной мощности и рассчитана на полное напряжение питающей сети. Заградительный реактор L1 позволяет провести ограничение коммутационных токов при включении/отключении оборудования.

Фильтр из элементов С17 – С18 и L3 настроен в резонанс на первую гармонику сети и обеспечивает отбор реактивной составляющей тока частоты 50 Гц мимо R1 с целью уменьшения его величины. Резистор R1 с сопутствующим оборудованием заградительного реактора и емкостными элементами обеспечивает фильтрацию гармоник, начиная с 5 и выше (рис. 5).



Поз. обозн.	Наименование	Кол.
A1	Блок выключателя компенсирующего устройства	1
A2	Шкаф трансформаторов тока ЕС006-01-000-00	1
C1-C12	Конденсатор PILP-281 кВАр-15,9-7500 В	12
C13-C16	Конденсатор PILP-568 кВАр-72,3-5000 В	4
C17,C18	Конденсатор PILP-227 кВАр-180,6-2000 В	2
L1	Реактор ХУКР 22,3 мГн/140А	1
L2	Реактор ХУКР 11,9 мГн/350А	1
L3	Реактор ХУКР 28,05 мГн/140А	1
R1	Блок резисторов БКРФ-3 6К\277.093	3
TA1	Трансформатор тока ARTECH CXE-52 10/5 А	1
TA2	Трансформатор тока ARTECH CXE-52 30/5 А	1

Рис. 5. Схема главных электрических присоединений УФК

Изначально УФК собирают исходя из условия, что полное сопротивление устройства (без учета величины R1) позволяет отсекать частоту 150 Гц. В этом работа устройства схожа с работой КУ или УПК, а фильтрация пятой и последующих гармоник будет происходить за счет оптимально сбалансированных параметров фильтра (рис. 6).

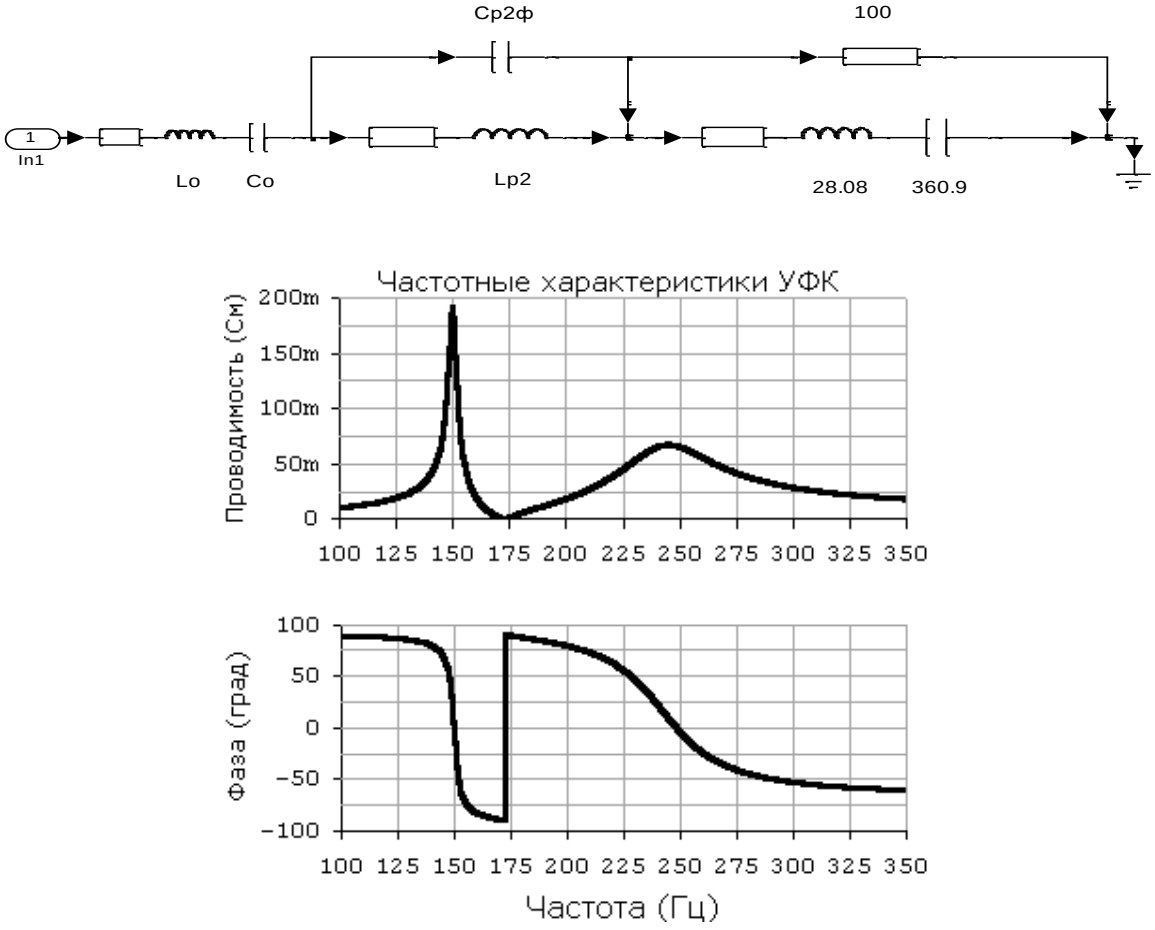


Рис. 6. Модель УФК и его частотные характеристики

Анализируя ЧХ УФК очевидно, что резонанс будет присутствовать на двух частотах (150 и 250 Гц), т.е. будет происходить фильтрация третьей и пятой гармоник тока основной частоты, протекающих (в том числе) по силовым цепям электрооборудования подстанций.

Вычисления проводились для двух вариантов: без УФК и при включении двух секций УФК. В результате расчетов определились минимальные уровни напряжений на токоприемниках локомотивов при движении по исследуемому участку (рис. 7).

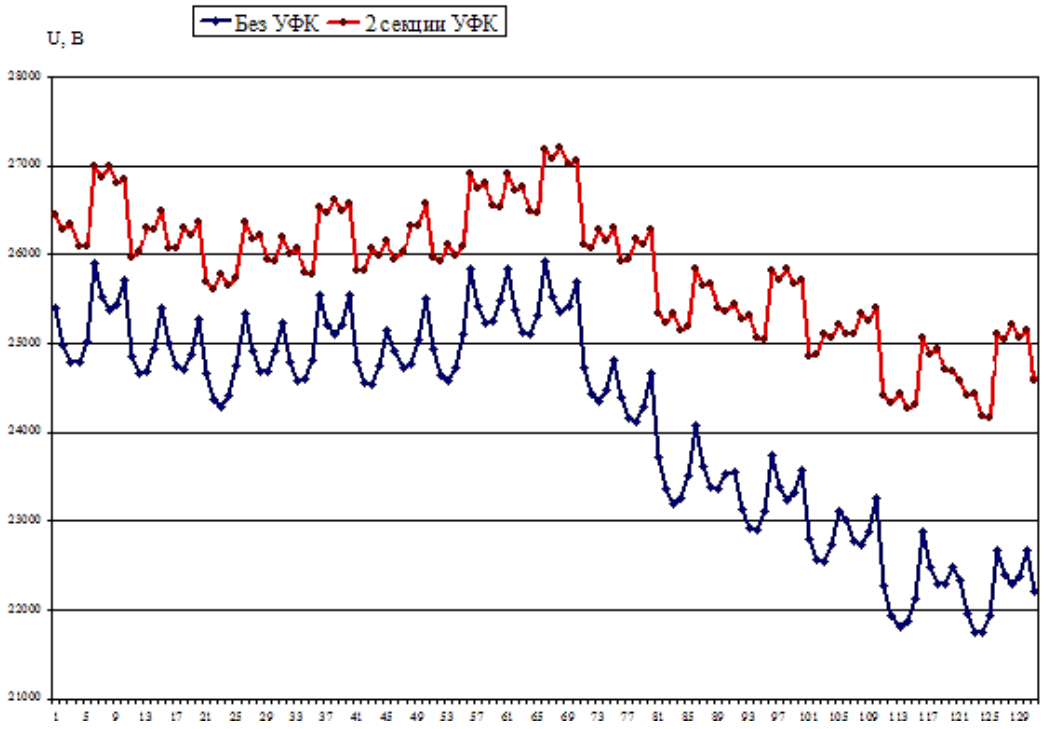


Рис. 7. Кривые напряжения на ЭПС (--- без УФК на МПЗ, --- с УФК на ТП)

Вычисленные значения коэффициентов искажения кривой напряжения 220 кВ на вводах тяговых подстанций участка (Ku) приведены в Таблице.

Таблица

Значения коэффициентов искажения кривой напряжения 220 кВ на вводах ТП участка при суммарном токе в МПЗ 600 А

600 А	Без УФК			2 секции УФК		
ТП	Ku(A)	Ku(B)	Ku(C)	Ku(A)	Ku(B)	Ku(C)
Могзон	4,40	3,69	3,80	2,54	1,81	2,40
Сохондо	3,59	3,05	3,10	1,97	1,72	1,82
Лесная	2,40	2,09	2,09	1,54	1,17	1,42
Чита-1	2,20	1,72	1,72	1,32	0,97	1,17
Новая	3,87	2,47	3,21	1,98	1,41	2,11
Карымская	4,36	3,25	3,47	2,33	1,74	2,07

Таким образом, на базе программных средств визуального моделирования пакета Matlab представлена имитационная модель СТЭ переменного тока и проведены натурные представления по степени влияния несинусоидальных режимов в случае организации тяжеловесного движения поездов. Доказана эффективность применения УФК, предназна-

ченных как для компенсации избыточной реактивной энергии, так и для нормализации Ku в системе тягового электроснабжения.

Библиографический список

1. ТУ УЭиЭ ЦДИ – филиала ОАО «РЖД» № ЦЭт-2/52 (П-04/11). «О порядке выбора параметров и мест размещения установок продольной и поперечной компенсации в системах тягового электроснабжения переменного тока». Дата введения 28.11.2011 г. – 18 с. – Текст : непосредственный.

2. Комплекс расчётов тягового электроснабжения. Общее руководство пользователя. – Москва : ВНИИЖТ, 2003. – 12 с. – Текст : непосредственный.

3. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. НОРМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems. Дата введения 01.01.1999 г. – Текст : непосредственный.

4. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. НОРМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ.Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems. Дата введения 07.01.2014 г. – Текст : непосредственный.

5. Дьяконов, В. П. MATLAB. Полный самоучитель / В. П. Дьяконов. – Москва : ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил. Текст : непосредственный.

6. Епифанов, Е. Л. Развитие системы тягового электроснабжения при организации тяжеловесного движения на полигоне Забайкальской железной дороги / Е. Л. Епифанов, А. Г. Морозов, Д. А. Яковлев // Транссиб: на острие реформ : сборник материалов международной научно-практической конференции. – Иркутский государственный университет путей сообщения ; Забайкальский институт железнодорожного транспорта, 2016. – С. 192–197. – Текст : непосредственный.

7. Яковлев, Д. А. Определение влияния параметров устройств ёмкостной компенсации на систему внешнего электроснабжения сковородинской дистанции электроснабжения / Д. А. Яковлев, Ц. Б. Жамбалова, С. Е. Кузьмина // Транспортная инфраструктура Сибирского региона, 2016. – Том 1. – С. 648–651. – Текст : непосредственный.

А.З. Даутова, В.А. Надёжкин
Самарский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия

АНАЛИЗ ТИПОВ ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ

В статье представлен анализ трёх типов изолирующих стыков. После анализа был выявлен наиболее выгодный – изолирующий стык фирмы АпАТэК.

После ряда исследований были определены его достоинства, однако последующее использование таких стыков показало, что они имеют и недостатки, что не в полной мере гарантируют прочность и исправность.

Проанализировав проблему, выявили методы устранения недостатков с помощью шунта для размагничивания изолирующих стыков ШРИС-65 и индикатора контроля намагниченности стыков ИКН. Использование индикатора ИКН и размагничивающего шунта позволяет, без использования сложных технологий и устройств, уменьшить уровень намагниченности концов рельсов.

Ключевые слова: изолирующий стык, тяговый ток, АпАТэК, магнитное поле, размагничивающий шунт ШРИС-65, индикатор контроля намагниченности стыков, степень намагниченности, магнитопровод, катушка индуктивности.

Изолирующий стык представляет собой стыковое соединение рельсов, используемое для электрической изоляции одного рельса от другого или одного рельсового участка от смежного с ним.

В большинстве случаев для предотвращения протекания обратного тягового тока требуются изолирующие соединения.

Рельсовые цепи бывают *однониточные* и *двухниточные.*

Было выявлено, что менее надежным по характеристикам, но более экономичным, значится пропуск обратного тягового тока по одной рельсовой нити, которая называется тяговой рельсовой нитью.

Для пропуска обратного тягового тока по двум нитям рельса используется дроссель-трансформаторы (ДТ) [1].

Различают три типа изолирующих стыков:

– стыки с металлическими объемлющими накладками;

– клееболтовые изолирующие стыки с двухголовыми накладками;

– изолирующие стыки с композитными накладками фирмы АпАТэК.

Вполне прочными изолирующими стыками, при условии соблюдения правил установки, являются стыки с объемлющими накладками.

Металлическая объемлющая накладка конструкции изолирующих стыков жесткая и прочная, что позволяет осуществлять монтаж без опоры. Их главные минус – недолговечность по сравнению с другими видами изолирующих стыков.

Клееболтовые изолирующие стыки с двухголовыми накладками широко используются в уравнительных пролетах бесстыкового пути.

В стыках с двухголовыми накладками применяются специальные накладки, обхватывающие пазуху рельсов, так называемые полнопрофильные накладки, а также используются типовые двухголовые шестидырные накладки, обстроганные по верхней и нижней поверхности. Изоляция оснащается стеклотканью, которая пропитана эпоксидным клеем. Главное преимущество таких изолирующих стыков – надежность в работе и большой срок службы (в среднем 300 млн т груза) [2].

Композитные накладки фирмы "АпАТэК" предназначены для электроизоляции стыков железнодорожных соединений и бесстыковых путей с рельсами всех видов. Их применение в изоляции рельсовых стыков однозначно отвечает требованиям безопасности движения, надежности и работоспособности железнодорожных путей. Такие накладки очень выгодны в применении, так как они характеризуются высокими прочностными, усталостными характеристиками, они стойки к коррозии и малому влагонасыщению, стойки к кислотам, нефтепродуктам, щелочам и маслам. Из-за длительного срока службы, простоты монтажа в любых климатических условиях и малого веса композитные накладки фирмы «АпАТэК» способствуют минимальным эксплуатационным расходам [3].

Однако последующее использование таких стыков показало, что они не в полной мере гарантируют прочность и исправность изолирующих стыков.

При стыковке между концами рельсов железнодорожного пути создается магнитное поле, которое усиливается, когда путь используется. Создаваемое магнитное поле притягивает тормозную пыль, окалину и металлические опилки к поверхности рельса. Накопление этих ферромагнитных частиц приводит к образованию проводящих мостиков между рельсами, препятствуя нормальному функционированию рельсовых цепей.

Сроки действия креплений зависят от скорости движения поезда, нагрузок колес и особенно от погодных условий. Также сильное воздействие на них оказывает качество текущего содержания пути и состояние ходовой части подвижного состава.

После ряда исследований специалистами были разработаны индикатор контроля намагниченности стыков ИКН и шунт для размагничивания изолирующих стыков ШРИС-65.

Размагничивающий шунт ШРИС-65 – это магнитная система, которая состоит из ферромагнитного сердечника.

Ферромагнитный сердечник, с другой стороны, имеет сильные постоянные магниты, закрепленные следующим образом: полюсные концы сердечника, соприкасающиеся с нижней частью рельса, изолированы магнитодиэлектрическими прокладками, которые уменьшают магнитное сопротивление между полюсным концом сердечника и нижней частью рельса.

Чтобы определить направления магнитного поля и уровень намагниченности при установке размагничивающего шунта изолирующих соединений используется индикатор контроля намагниченности ИКН, который также является магнитной системой. Над магнитной стрелкой и индикаторной картушкой расположен магнитопровод, ориентированный вдоль стыкового зазора.

На картушке есть шкала для определения степени намагниченности стыка. Магнитная стрелка ИКН отклоняется на определенный угол, тем самым указывает на определенную зону картушки. Это отклонение зависит от величины индукции магнитного поля изолирующего стыка. Следовательно, если уровень намагниченности высокий, то угол стрелки индикатора ИКН отклоняется на больший угол, если уровень намагниченности изолирующего стыка низкий, то угол будет маленьким.

Таким образом, определить уровнь степени намагниченности изолирующего стыка теперь стало возможным, благодаря установке одного только прибора – индикатора намагниченности ИКН [4].

Шунт размагничивания устанавливается так, чтобы стрелка индикатора контроля намагниченности отклонялась в зону зеленого цвета.

Использование индикатора ИКН и размагничивающего шунта позволяет, без использования сложных технологий и устройств, уменьшить уровень намагниченности концов рельсов до более 50 % по сравнению с изолирующими стыками, которые имеют композитные накладки и полимерные прокладки, тем самым снижается вероятность возникновения электропроводного «мостика» между изолированными рельсами.

Также известно устройство для размагничивания изолирующих стыков рельсов RU 133532 U1. Средства размагничивания, сделанные в виде электромагнитов с П-образными магнитопроводами, находятся в рельсовой тележке. Каждый магнитопровод состоит из пластин с двумя расположенными на них катушками индуктивности, подключёнными к

источнику переменного напряжения, и блок конденсаторов, включённый параллельно катушкам индуктивности [5].

Таблица

Сравнение устройств размагничивания изолирующих стыков рельсов

Наименование устройства	Преимущества	Недостатки
ШРИС-65 и ИКН	Шунт размагничивания устанавливается под стык так, что не требует разборки изолирующего стыка; Использование ИКН дает возможность определять намагниченность изолирующих стыков в любых климатических условиях. Индикатор контроля намагниченности не требует внешнего питания.	Устранение металлических стружек происходит вручную работниками станции.
RU 133532 U1	В устройстве есть колебательный контур, который обеспечивает осуществление резонансного размагничивания. Благодаря этому ток, который протекает в контуре размагничивания больше тока, потребляемого от электростанции. Тем самым, обеспечивается получение сильного магнитного поля, который обеспечивает эффективно размагничивание стыков рельсов, что является немаловажным фактором в работе изолирующих стыков.	Громоздкость – главный недостаток этого устройства. Габариты тележки-прототипа составляют 2035×2008×1350, а масса – 600 кг. Для его перемещения, установки и уборки потребуется грузоподъемные оборудования. Еще одним недостатком устройства размагничивания изолирующих стыков является неэффективность размагничивания рельса.

Таким образом, в данной статье были рассмотрены три вида изолирующих стыков.

И мы выявили, что изолирующий стык фирмы АпАТэК имеет больше преимуществ: стойкость к коррозии, маленький вес конструкции, минимальные расходы на монтаж.

Однако в области изолирующего стыка с композитными накладками магнитное поле имеет высокий уровень напряженности, что может вызвать периодические электрические замыкания, тем самым вызывающие сбои в работе систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), а также дать ложный сигнал занятости [6].

Впрочем, этот недостаток устраняется с помощью шунта для размагничивания изолирующих стыков ШРИС-65 и индикатора контроля намагниченности стыков ИКН [7].

Также было рассмотрено устройство размагничивания RU 133532 U1. Технический результат устройства – повышение эффективности размагничивания изолирующих стыков рельсов, обеспечение безопасности и автономной его работы. Но из-за разницы высоты рельсов в стыках возникает вероятность повреждения магнитопроводов, поэтому магнитопроводы при работе располагаются на расстоянии 10–50 мм над рельсом. Такая разность в размерах может привести к не совсем точным результатам импульсов тока, что позволяет не в полной мере обеспечить качественное и эффективное размагничивание.

Библиографический список

1. Устройство и техническое обслуживание контактной сети : учебное пособие / В. Е. Чекулаев [и др.] ; под редакцией А. А. Федотова. – Москва : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 436 с. – Текст : непосредственный.

2. Тарасов, Е. М. Разработка математической модели изолирующих стыков в комплексе с дроссель-трансформаторами / Е. М. Тарасов, С. А. Вельмин, В. А. Надежкин, А. Е. Тарасова // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 1. – С. 316–320. – Текст : непосредственный.

3. Абрамов, В. М. Влияние остаточной намагниченности рельсов на устойчивость работы АЛСН / В. М. Абрамов, А. Б. Чегуров // Вестник РГУПС. – 2009. – № 4. – С. 70–76. – Текст : непосредственный.

4. Емельянов, Е. Н. Размагничивающий шунт для изолирующих стыков / Е. Н. Емельянов, В. С. Фадеев // Путь и путевое хозяйство : журнал. – 2015. – № 8. – Текст : непосредственный.

5. Иванков, И. П. Устройство для размагничивания стыков рельсов / И. П. Иванков, В. А. Козлов. – Текст : непосредственный.

6. Тарасова, А. Е. Статистический анализ отказов изолирующих стыков / А. Е. Тарасова, С. А. Вельмин, В. А. Надежкин, Н. А. Кравцова // Наука и образование транспорта. – 2021. – С. 320–322. – Текст : непосредственный.

7. Карманников, А. В. Анализ причин намагниченности рельсов в изолирующих стыках / А. В. Карманников, Д. В. Волкова, В. А. Надежкин // Дни студенческой науки : сборник материалов 49-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 05–16 апреля 2022 года. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 120–122. – Текст : непосредственный.

А.В. Крюков, Е.В. Воронина, И.А. Фесак
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

УЧЁТ ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ НЕСИММЕТРИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, СОЗДАВАЕМЫХ КОМПАКТНЫМИ ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Представлены результаты компьютерных исследований электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых компактными воздушными линиями (КВЛ), питающими тяговые подстанции, при этом учитывалась значительная несимметрия, возникающая из-за однофазного характера нагрузок электровозов, изменяющая пространственную структуру ЭМП. Показано, что применение КВЛ позволяет улучшить условия электромагнитной безопасности в системах внешнего электроснабжения железных дорог по критерию напряженностей магнитного поля, а использование КВЛ с вертикальным расположением проводов даёт возможность дополнительно снизить напряженности электрического поля.

Ключевые слова: системы электроснабжения железных дорог, компактные линии электропередачи, электромагнитные поля, несимметрия.

Введение. Происходящий в настоящее время переход электроэнергетики на новую технологическую платформу, базирующуюся на применении интеллектуальных технологий управления [1], невозможен без использования более совершенных силовых элементов, прежде всего средств для транспорта электрической энергии (ЭЭ). Одним из наиболее эффективных способов повышения эффективности транспортных каналов состоит в применении компактных ЛЭП, обеспечивающих увеличение пропускной способности [2]. В обозримой перспективе возможно использование таких ЛЭП в системах внешнего электроснабже-

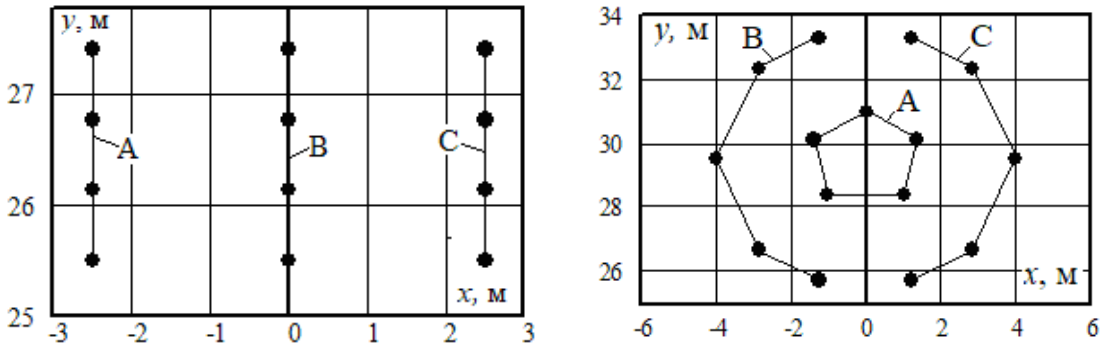
ния (СВЭ) железных дорог. Поэтому становится актуальной задача определения целесообразности таких технических решений.

В статье [3] были представлены результаты компьютерного анализа энергетической эффективности применения КВЛ в СВЭ, которые показали, что на этой основе можно снизить потери и улучшить качество электроэнергии. Однако, наряду с энергоэффективностью и высоким качеством ЭЭ, интеллектуальные электрические сети должны удовлетворять самым высоким требованиям по электромагнитной безопасности, которая определяется уровнями напряженностей электромагнитных полей, создаваемых ЛЭП.

Задачам изучения ЭМП на трассах КВЛ посвящен целый ряд работ. Так, например, в статье [4] приведены результаты анализа электрического поля компактной ЛЭП 150 кВ. В работе [5] проведено сравнение распределения магнитного поля типовой и компактной ЛЭП. Анализ этих и других работ по КВЛ показывает, что задача изучения ЭМП с учетом несимметрии токов и напряжений остается нерешенной.

Ниже приведены результаты исследований, направленных на решение задачи учета продольной и поперечной несимметрия при моделировании ЭМП, создаваемых компактными линиями электропередачи.

Методика и результаты моделирования. Моделирование ЭМП КВЛ выполнено на основе методики, изложенной в работе [6].



а) *б)*

Рис. 1 (начало). Координаты расположения проводов ЛЭП компактного типа: *а* – с вертикальным расположением проводов; *б* – коаксиальная двухсегментная; *в* – коаксиальная четырехсегментная; *г* – треугольная; *д* – двойная коаксиальная; *е* – параболическая; *ж* – трехсегментная; *з* – концентрическая

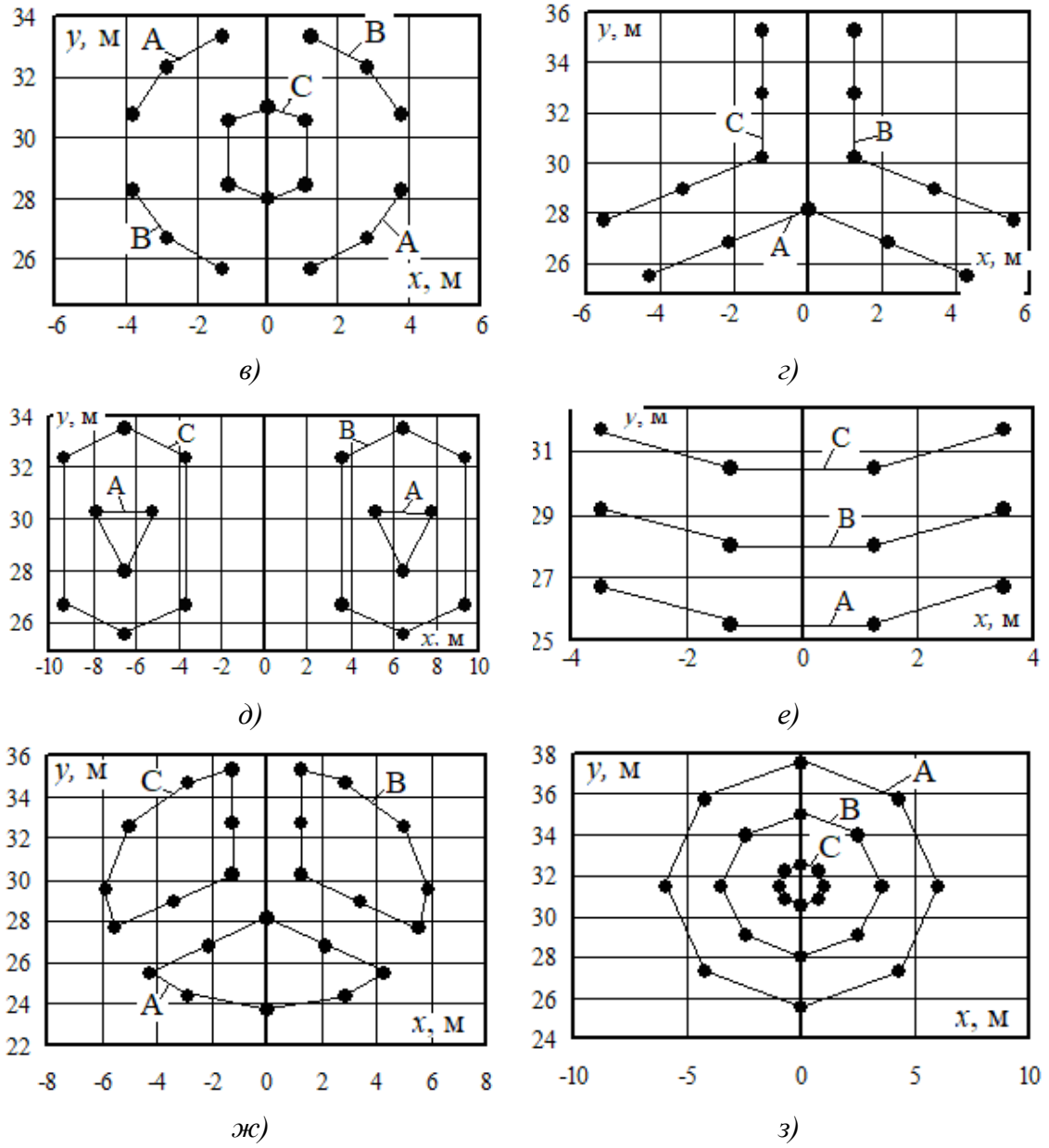


Рис. 1 (окончание). Координаты расположения проводов ЛЭП компактного типа: *а* – с вертикальным расположением проводов; *б* – коаксиальная двухсегментная; *в* – коаксиальная четырехсегментная; *г* – треугольная; *д* – двойная коаксиальная; *е* – параболическая; *ж* – трехсегментная; *з* – концентрическая

Рассматривались КВЛ восьми конструкций, с расположением проводов, показанным на рис. 1. Для сравнения проведено моделирование типовой ЛЭП 220 кВ с проводами АС-600 (рис. 2). Моделирование выполнено в программном комплекс Fazonord на основе методов, описанных в работе [7]. Рассматривалась система внешнего и тягового электроснабжения, схема которой показана на рис. 3.

Моделирование ЭМП осуществлялось для ЛЭП 5 в точке с координатами x = 0 м, y = 1,8 м. На приемном конце этой ЛЭП задавалась нагрузка транзита 60 + j30 МВ·А на каждую фазу.

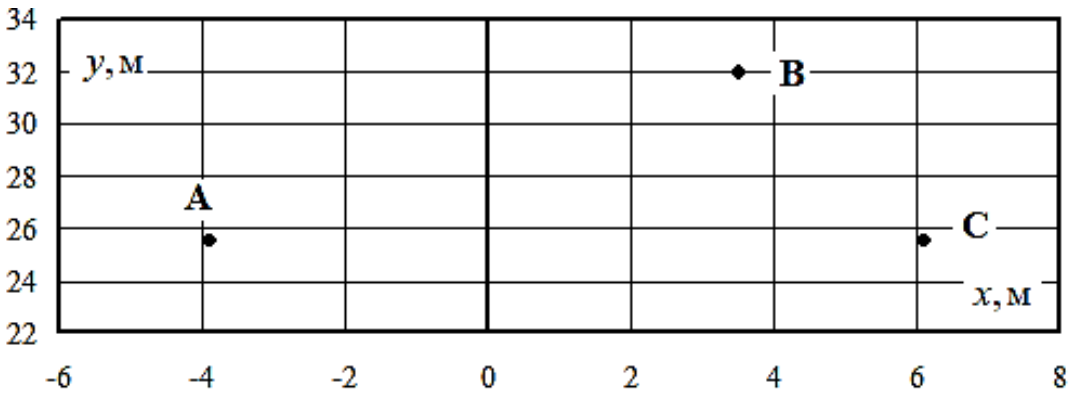


Рис. 2. Координаты расположения проводов ЛЭП типовой конструкции

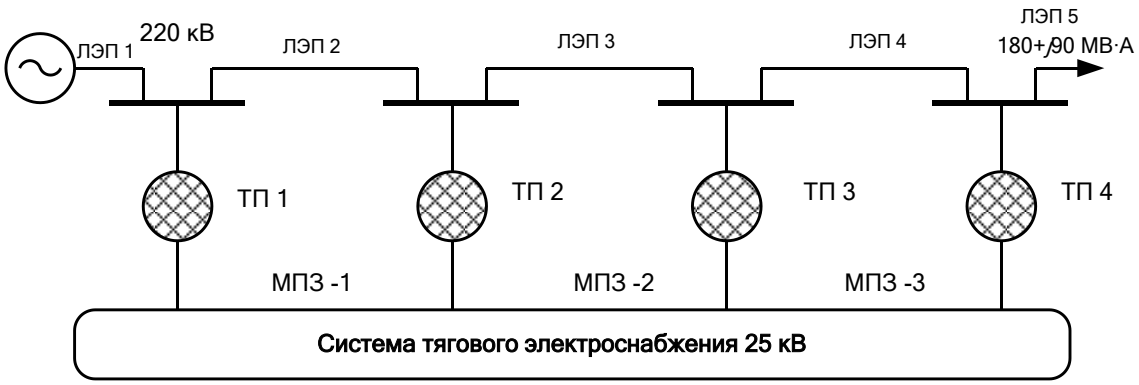
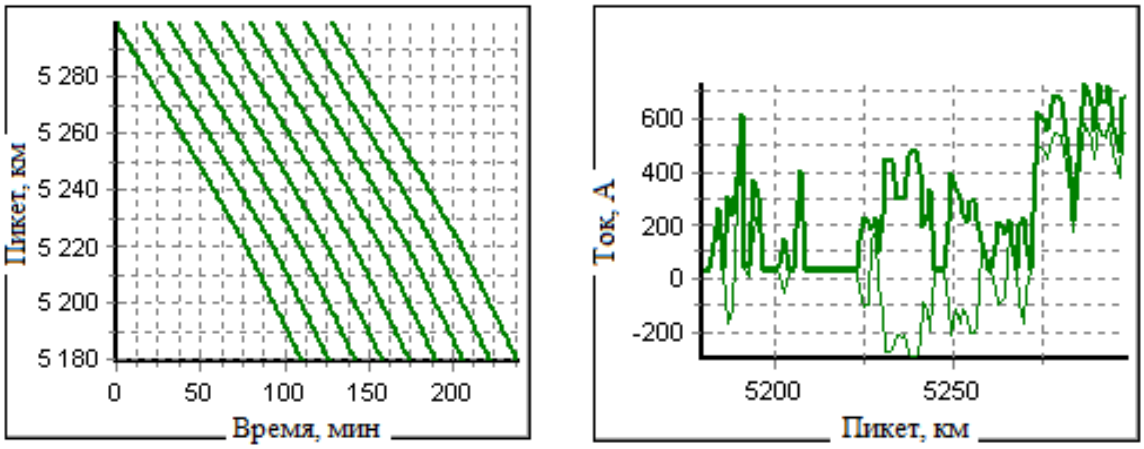


Рис. 3. Схема сети: ТП – тяговая подстанция; МПЗ – межподстанционная зона

Моделировалось движение 9 поездов массой 4084 т в нечетном направлении. График движения и токовый профиль поезда показаны на рис. 4. Результаты моделирования проиллюстрированы в Таблице и на рис. 5–7.



а) *б)*

Рис. 4. График движения и токовый профиль поезда

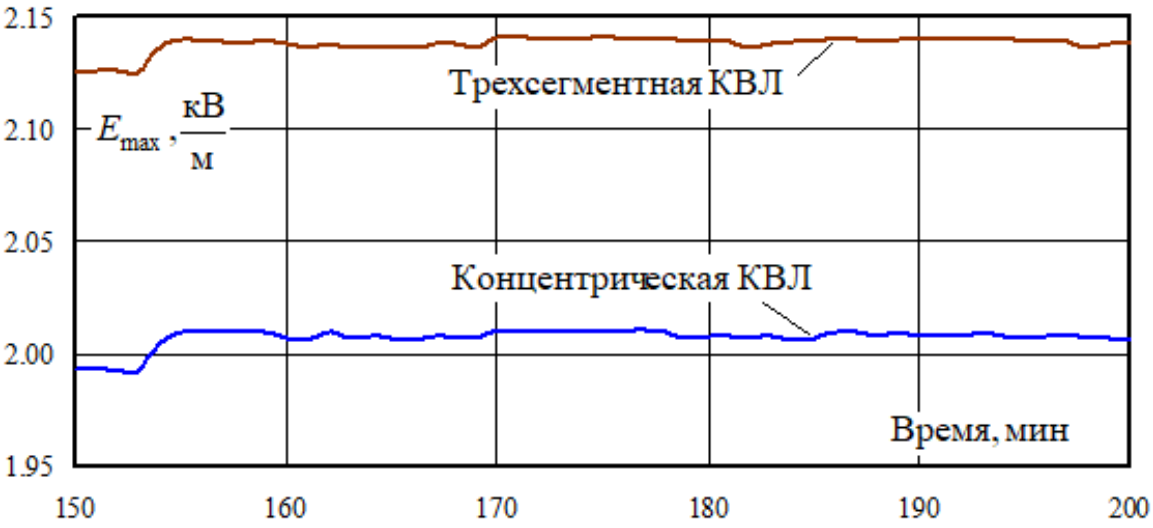


Рис. 5. Напряженность электрического поля (ЭП) на высоте 1,8 м в начале питающей ЛЭП 1

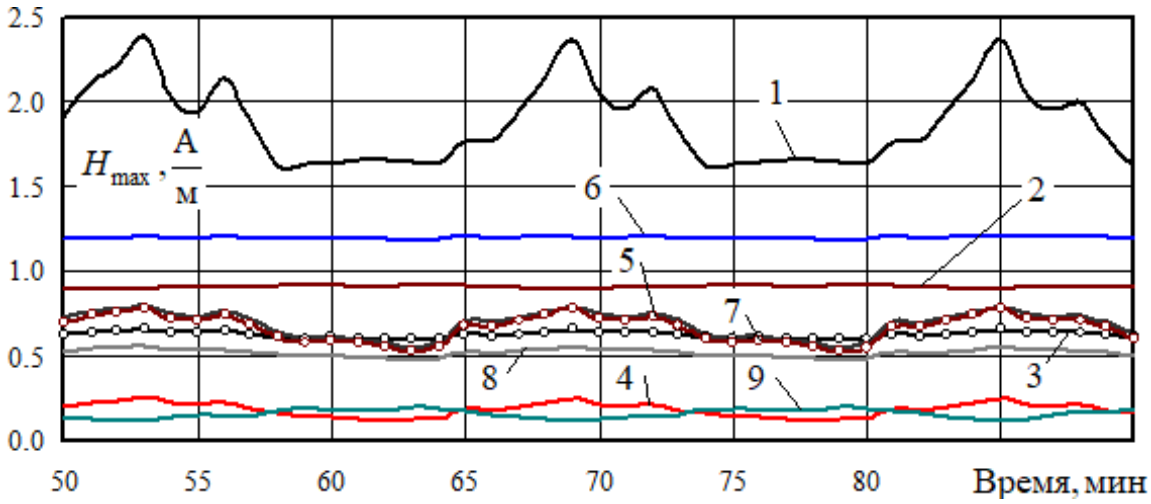


Рис. 6. Напряженность магнитного поля (МП) на высоте 1,8 м в начале ЛЭП 5: 1 – трехфазная ЛЭП с проводами АС-600; 2 – КВЛ с вертикальным расположением проводов; 3 – коаксиальная двухсегментная КВЛ; 4 – коаксиальная четырехсегментная КВЛ; 5 – треугольная КВЛ; 6 – двойная коаксиальная КВЛ; 7 – параболическая КВЛ; 8 – трехсегментная КВЛ; 9 – концентрическая КВЛ

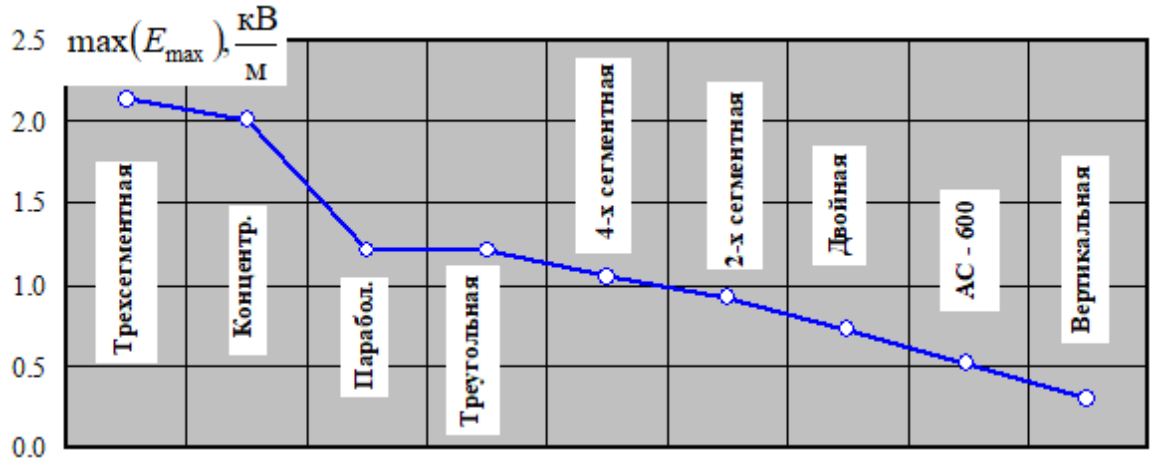


Рис. 7. Максимумы амплитуд электрического поля

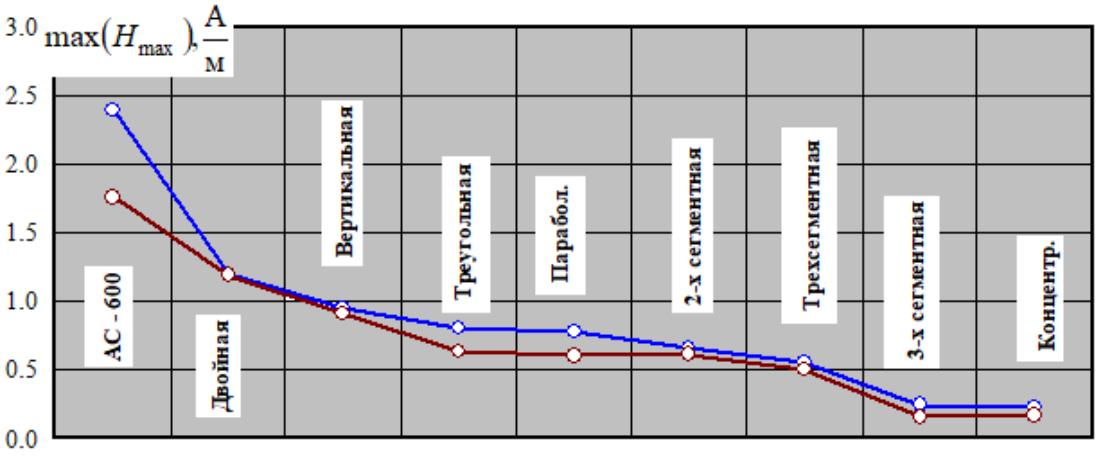


Рис. 8. Максимумы амплитуд магнитного поля

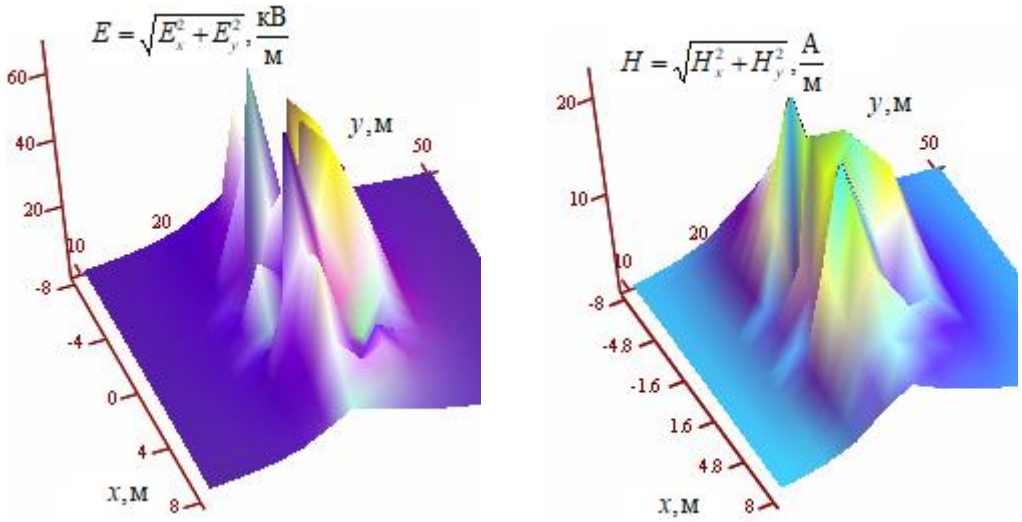


Рис. 9. Пространственная структура напряженностей ЭМП трехсегментной компактной воздушной линии

Таблица

Сводные данные по максимумам амплитуд напряженностей

Конструкция ЛЭП	Электрическое поле, кВ/м	Магнитное поле, А/м
Типовая с проводами АС-600	0,52	2,39
С вертикальным расположением проводов	0,33	0,94
Коаксиальная двухсегментная	0,92	0,66
Коаксиальная четырехсегментная	1,05	0,25
Треугольная	1,21	0,8
Коаксиальная двойная	0,73	1,2
Параболическая	1,21	0,78
Трехсегментная	2,14	0,55
Концентрическая	2,01	0,22

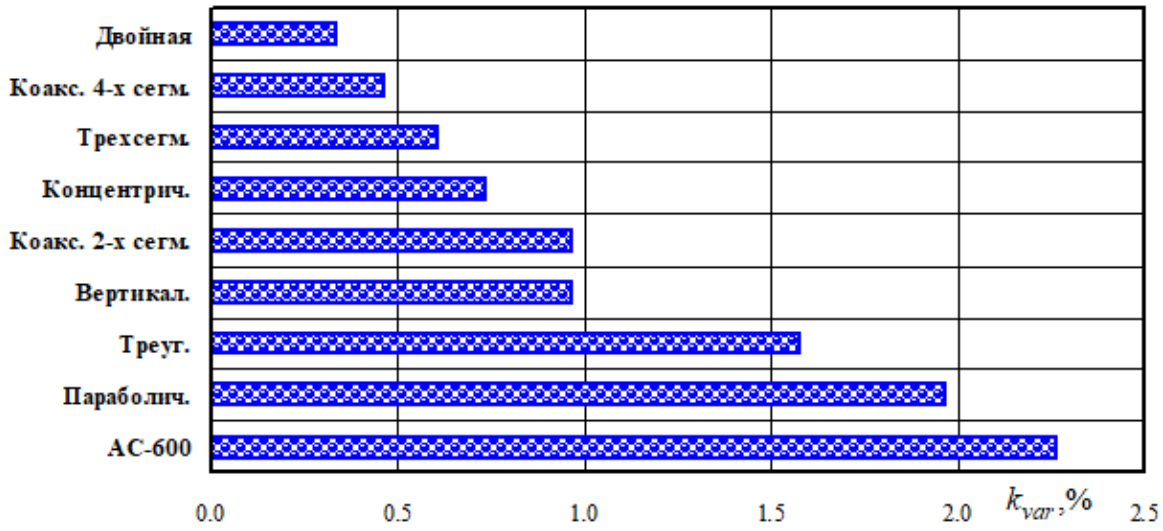


Рис. 10. Коэффициенты вариации амплитуд напряженностей электрического поля: $k_{var} = \frac{\sigma}{\overline{E}_{\max}}$; σ – стандартное отклонение; $\overline{E}_{\max}$ – среднее значение амплитуды ЭП

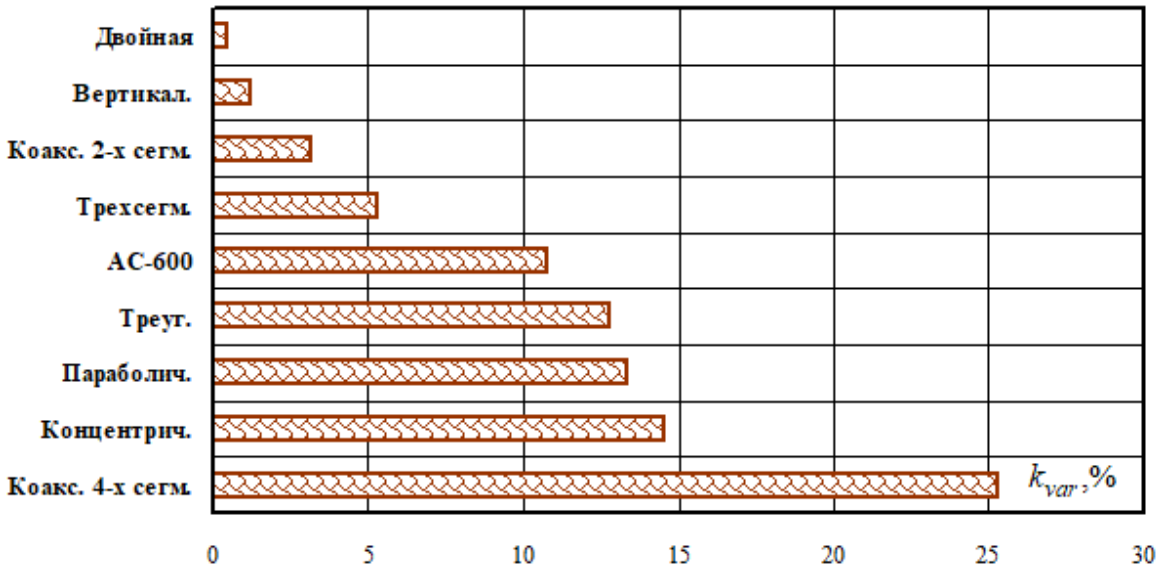


Рис. 11. Коэффициенты вариации амплитуд напряженностей магнитного поля

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Максимумы амплитуд электрического поля (ЭП) всех рассмотренных КВЛ, кроме линии с вертикальным расположением проводов, превышают аналогичные значения для типовой ЛЭП. Наибольшее, четырехкратное различие имеет место для трехсегментной КВЛ. Однако уровни напряженностей ЭМП для всех рассмотренных конструкций КВЛ не выходят за допустимые пределы. Превышение этих преде-

лов будет иметь место только при работе на ЛЭП без снятия напряжения (рис. 9).

2. Конструктивные особенности КВЛ обеспечивают снижение напряженностей магнитного поля (МП) КВЛ по сравнению с ЛЭП типовой конструкции, рис. 8, Табл. Так, например, отношение максимумов амплитуд МП для типовой линии и КВ и концентрической КВЛ достигает 11.

3. Наблюдаются демпфирующие эффекты КВЛ, заключающиеся в уменьшении вариабельности поля. Коэффициенты вариации напряженностей ЭП для всех рассмотренных КВЛ ниже аналогичного показателя типовой линии (рис. 10). Максимальное различие наблюдается для коаксиальной КВЛ двойного типа и достигает семи раз. Меньшая, чем в типовой линии вариабельность МП имеет место для следующих конструкций (рис. 11): трех- и двухсегментных, коаксиальной двойной и линией с вертикальным расположением проводов.

Заключение. На основе методов моделирования электромагнитных полей, разработанных в ИрГУПСе, предложена методика определения ЭМП компактных воздушных линий, питающих тяговые подстанции. Рассмотрено восемь конструкций КВЛ. Методика отличается универсальностью и может быть распространена на КВЛ любого типа. Ее применение в практике проектирования систем внешнего электроснабжения железных дорог позволит обоснованно походить к выбору рациональных конструкциий питающих ЛЭП высокого напряжения.

Библиографический список

1. Шестернева, А. М. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях с применением интеллектуальных сетей smart grid / А. М. Шестернева, О. Н. Титаренко, Е. Г. Малюк // Энергетические установки и технологии. – 2020. – Том 6. – № 4. – С. 103–111. – Текст : непосредственный.

2. Лавров, Ю. А. Особенности создания компактных воздушных линий электропередачи высокого напряжения / Ю. А. Лавров, Р. А. Войтович, Н. Ф. Петрова // Наука в России: перспективные исследования и разработки. – Новосибирск, 2017. – С. 152–159. – Текст : непосредственный.

3. Моделирование режимов компактных линий электропередачи, питающих тяговые подстанции / Е. В. Воронина, А. В. Крюков, А. Д. Степанов, И. А. Фесак // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 2 (74). – С. 151–162. – Текст : непосредственный.

4. Umar Khayam, Reynaldi Prasetyo, Syarif Hidayat. Electric field analysis of 150 kV compact transmission line. 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS). – 2017. – Publisher: IEEE. – Текст : непосредственный.

5. A. A. Dahab, F. K. Amoura, W. S. Abu-Elhaija. Comparison of magnetic-field distribution of noncompact and compact parallel transmission-line configurations. IEEE Transactions on Power Delivery: 2005. – Vol. 20. Issue 3. – Publisher: IEEE. – Текст : непосредственный.

6. Закарюкин, В. П. Комплексное моделирование мультифазных, многоцепных и компактных линий электропередачи / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, Тхао Ван Лэ. Иркутск : ИрГУПС, 2020. – 296 с. – Текст : непосредственный.

7. Закарюкин, В. П. Сложнонесимметричные режимы электрических систем / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков. – Иркутск : Издательство Иркутского университета, 2005. – 273 с. – Текст : непосредственный.

***Д.И. Кузубов*[1]**
[1]Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

***Е.Ю. Пузина*[1,2]**
[1]Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия
[2] Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕНОСА НЕЙТРАЛЬНОЙ ВСТАВКИ СТАНЦИИ ОГНЕВКА

Прогнозируемый в перспективе рост объемов грузовых перевозок на российских железных дорогах требует усиления пропускной способности основных направлений на основе устранения «узких мест» и создания необходимых резервов, анализа существующего расположения устройств системы тягового электроснабжения с разработкой при необходимости предложений по их оптимизации.

В данной работе произведена оценка параметров режима работы системы тягового электроснабжения участка Чукша – Торея – Огневка Восточно-Сибирской железной дороги с учетом перспективных размеров движения на 2025 год. Выполнен анализ расположения нейтраль-

ной вставки на станции Огневка в связи с отнесением зоны Торея – Огневка к лимитирующей. Результаты анализа указали на необходимость переноса нейтральной вставки и установки станционного фидера контактной сети на станции Огневка.

Проверка пропускной способности системы тягового электроснабжения участка Чукша – Огневка с учетом внесенных предложений подтвердила их положительное влияние на пропускную способность. Вместе с тем, с целью достижения заданного межпоездного интервала на исследуемом участке потребовалось применить ряд традиционных средств усиления системы тягового электроснабжения.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, нейтральная вставка, контактная сеть, тяговые подстанции.

Участок Чукша – Огневка входит в состав Вихоревской дистанции электроснабжения Восточно-Сибирской железной дороги. На всем протяжении исследуемого участка его электроснабжение организовано от двух тяговых подстанций переменного тока 1х27,5 кВ.

Существующая нейтральная вставка (НВ) станции Огневка расположена на расстоянии более 5 км от тяговой подстанции (ТП) Огневка, и на этом участке от выходных сигналов до самой НВ имеется подъем 14‰ в четном направлении. Соответственно, четные поезда, разгоняясь от станции Огневка, вызывают значительное падение напряжения в контактной сети (КС) не только на данном участке, но и на перегоне Торея – Огневка. Так как КС перегона Торея – Огневка и станции Огневка питаются одной и той же фазой силового трансформатора ТП Огневка, то напряжение этой фазы имеет существенные просадки. Кроме того, фидерные трассы 4-го и 5-го фидеров контактной сети (ФКС), питающие участок за НВ, также не способствуют стабильному уровню напряжения на участке Огневка – Турма в Восточном направлении питания.

Соответственно, при планируемых на 2025 год минимальных интервалах попутного следования, наблюдается существенная просадка напряжения на указанных выше межподстанционых зонах (МПЗ), и уровень напряжения на токоприемниках снижается ниже 21 кВ [1-5]. С учетом расчетных интервалов 10 мин для поездов весом 6000 т зона Чуна – Турма остается лимитирующей, и позволяет иметь минимальный межпоездной интервал только 13 мин. При этом, напряжение на токоприемниках данных поездов при попытке ехать с интервалом 10 минут падает до 19,19 кВ, что, безусловно, влияет на скорость их движения.

Также следует отметить еще одну проблему, связанную с текущим расположением НВ. Необходимо отметить, что станция Огневка не име-

ет отдельного питающего фидера и питается от перегонных фидеров через включенные разъединители А, Б. Расположение НВ представлено на рис. 1.

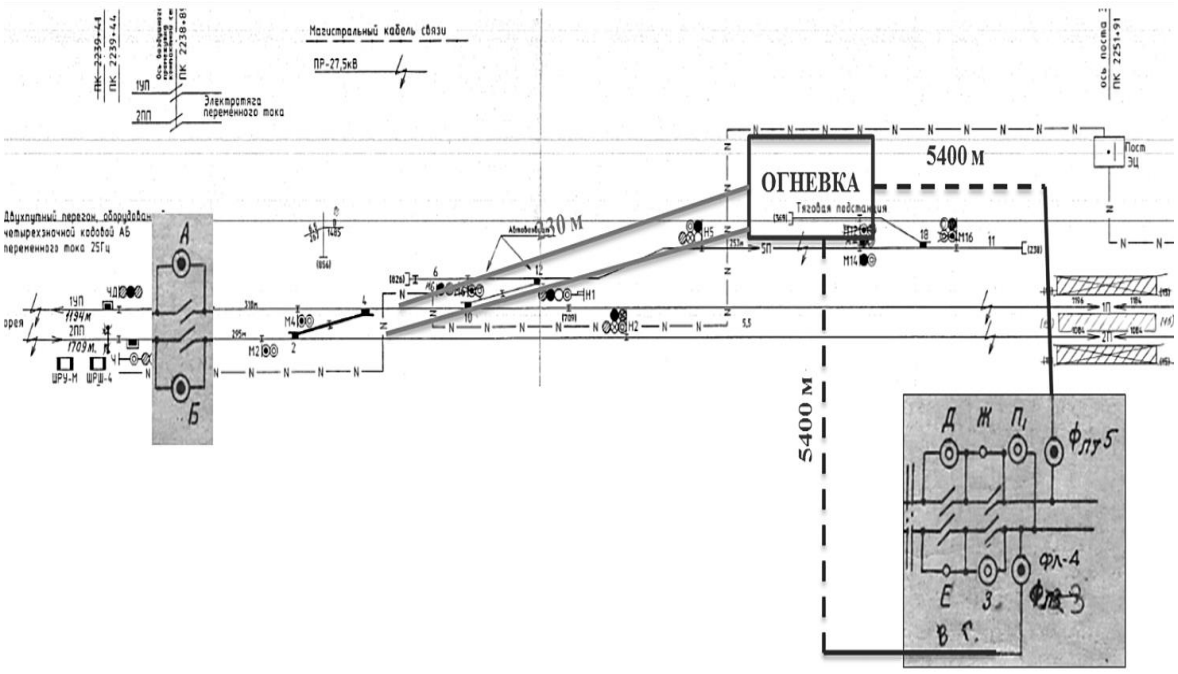


Рис. 1. Существующее положение НВ на станции Огневка

При питании контактной сети перегона от станционного ФКС со спрямлением воздушных промежутков возникает риск пережогов НВ при их перекрытии, так как межфазное замыкание возникает между удаленными на большое расстояние тяговыми подстанциями.

Применительно к станции Огневка происходит следующий динамический процесс. При перекрытии существующей нейтральной вставки отключаются 1ФКС или 2ФКС на ТП Огневка, однако перекрытие подпитывается от соседних ТП Чукша и Турма. Сопротивление контактной сети в этом случае удваивается и не позволяет отстроить защиты от нагрузочного режима с достаточной надежностью. Длительное, как правило, дуговое замыкание, с большой вероятностью может привести к повреждению НВ с последующим падением проводов на заземленные конструкции. После чего защиты воспринимают данное короткое замыкание и отключают КС, но объем повреждения, как правило, многократно увеличивается по сравнению с классическим повреждением, когда отдельный станционный ФКС отключает НВ со стороны станции, прекращая короткое замыкание с минимальной выдержкой времени.

В настоящее время подобные нейтральные вставки не защищены от пережога действием релейных защит [6-8]. Таким образом, на подобных станциях, требуется установка условно станционных ФКС, с дешунтированием воздушных промежутков (в данном случае, отключение разъединителей А, Б). Дополнительным мероприятием является установка на ФКС смежных подстанций защит типа ИнТер-ФКС с локальными чувствительными уставками защиты по минимальному напряжению на каждом ФКС.

Учитывая вышесказанное, предлагается выполнить реконструкцию схемы питания и секционирования контактной сети участка Чукша-Огневка с переносом нейтральной вставки на станцию Огневка в непосредственной близости от тяговой подстанции с организацией отдельного станционного ФКС для питания участка от новой нейтральной вставки до существующих разъединителей В, Г (рис. 2).

Новая нейтральная вставка станции Огневка будет расположена в непосредственной близости от тяговой подстанции на 225 км. Соответственно, четные поезда, разгоняясь от станции Огневка, питаясь от иной фазы, чем перегон Торея – Огневка, не вызывают значительного падения напряжения в контактной сети не только на данном участке, но и на перегоне Торея – Огневка. При планируемых минимальных интервалах попутного следования, трехминутная просадка напряжения не превышает допустимые пределы.

На станции Огневка появляется отдельный питающий фидер, и риск повреждения нейтральной вставки при ее перекрытиях существенно снижается. Фидерные трассы 4-го и 5-го ФКС Огневка – Турма в Восточном направлении питания значительно укорачиваются.

Конструктивно, предлагаемая нейтральная вставка, может быть рассмотрена в двух вариантах исполнения. Классическая нейтральная вставка имеет общую длину между знаками отключить-включить ток 350 м. Безусловно, выполнение вставки подобной длины в стесненных условиях, может быть проблематично. В связи с этим, при конструктивной проектной необходимости возможно рассмотреть вариант укороченной нейтральной вставки, длина которой между знаками составляет 166 м. В связи с отсутствием на данном участке электропоездов длиной 8 и более вагонов, применение подобного исполнения вполне допустимо.

Для исключения повреждений необходим жесткий запрет на движение локомотивов с двумя и более поднятыми токоприемниками на разных секциях, для исключения перекрытия воздушной изоляции НВ.

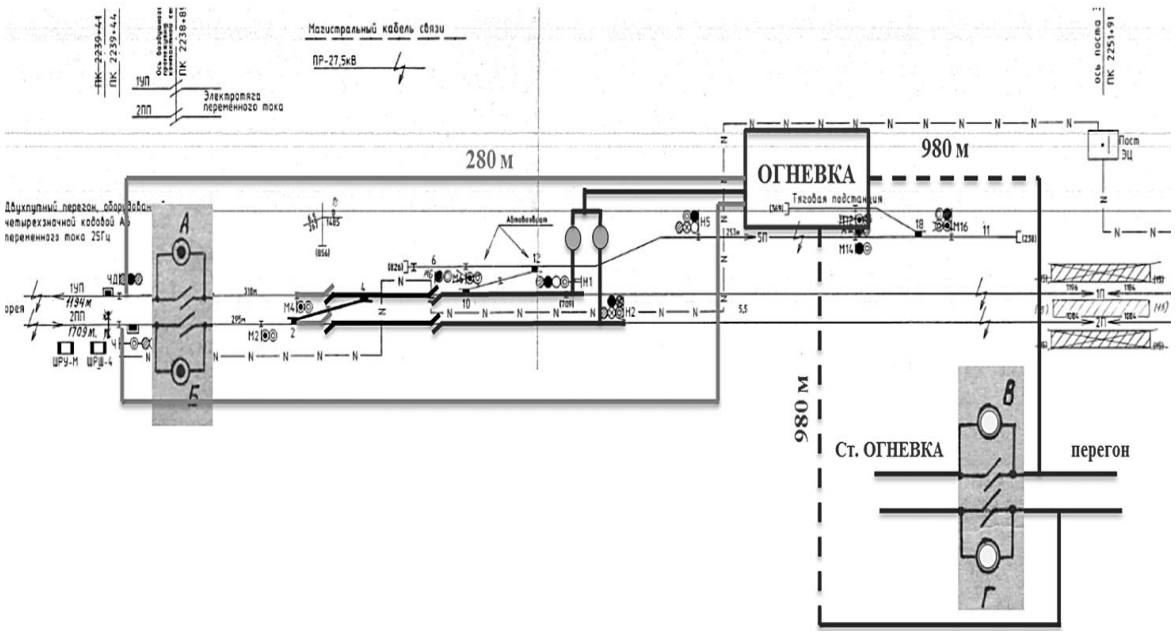


Рис. 2. Положение НВ после переноса

Оценка пропускной способности исследуемого участка после переноса НВ и организации нового ФКС станции Огневка показала, что уровень напряжения в КС зоны Огневка – Турма при межпоездном интервале поднялся до 19,84 кВ вместо 19,19 кВ. В связи с этим дополнительно предложено техническое перевооружение СТЭ данного участка [9–13], включающее:

– установку дополнительного силового трансформатора мощностью 40000 МВА на ТП Огневка;

– установку устройства поперечной компенсации мощностью 4,8 МВАр на посту секционирования ст. Торея (209-й км);

– подвес усиливающего провода А-185 с 210-го км 6-й пикет по 225-й км 6-й пикет (длина 16 км).

И именно после переноса НВ с установкой станционного 3 ФКС и применения указанных средств усиления удалось поднять напряжение на токоприемнике локомотива до 22,1 кВ и обеспечить минимальный межпоездной интервал 10 минут.

Таким образом, разработанные предложения по переносу НВ станции Огневка и монтажу станционного ФКС в сочетании с применением средств усиления системы тягового электроснабжения участка Чукша – Огневка действительно позволят повысить энергоэффективность работы исследуемого участка.

Библиографический список

1. Puzina, E. Yu. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices / E. Yu. Puzina, M. Yu. Cherniga, I. A. Khudonogov // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. (2020). – С. 9271385. – Текст : непосредственный.

2. Grigoriev, N. P. Reduction of electrical ehergy losses of power transformer of 25 kV traction substations / N. P. Grigoriev, M. S. Klykov, V. A. Tikhomirov, P. N. Trofimovich // IOP Conferens Series: materials Science and Engineering. – 2020. – № 760. – С. 012060. – Текст : непосредственный.

3. Cherepanov, A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation / A. Cherepanov, A. Kutsiy // International Russion Automation Conference, RusAutoCon2018. – С. 8501734. – Текст : непосредственный.

4. Шевердин, И. Н. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛСН / И. Н. Шевердин, В. И. Шаманов, Ю. А. Трофимов, А. В. Пультяков // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – № 10. – С. 16–19. – Текст : непосредственный.

5. Пузина, Е. Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Чуро-Таксимо ВСЖД / Е. Ю. Пузина // Транспорт: наука, образование, производство : труды международной научно-практической конференции. – Ростовский государственный университет путей сообщения. – 2016. – С. 306–310. – Текст : непосредственный.

6. Востриков, М. В. Прогнозирование динамики пусковых и переходных токов с целью повышения селективности микропроцессорных устройств релейной защиты фидеров контактной сети / М. В. Востриков, К. В. Менакер, А. В. Пультяков // Транспорт Урала. – 2021. – № 1 (68). – С. 86–92. – Текст : непосредственный.

7. Востриков, М. В. Повышение надежности перевозочного процесса за счет внедрения устройства адаптивной дистанционной защиты резервных ступеней фидеров контактной сети / М. В. Востриков, С. А. Филиппов, Д. А. Яковлев // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Том 1. – С. 745–748. – Текст : непосредственный.

8. Potapov, V. V. Theoretical Bases of Electrical Engineering / V. V. Potapov, K. V. Suslov, K. V. Kostina. – Irkutsk : Irkutsk National Research Technical University. – 2020. – 158 p. – Текст : непосредственный.

9. Пузина, Е. Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Якурим–Звездная ВСЖД / Е. Ю. Пузина, В. М. Перелыгин // Транспорт-2013 : труды международной научно-практической конфе-

ренции. – Ростов-на-Дону : Издательство РГУПС, 2013. – С. 176–178. – Текст : непосредственный.

10. Ступицкий, В. П. Повышение достоверности диагностирования состояния несущего троса контактной сети / В. П. Ступицкий, И. А. Худоногов, В. А. Тихомиров, О. В. Лобанов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 1 (65). – С. 136–143. – Текст : непосредственный.

11. Крюков, А. В. Применение управляемых источников реактивной мощности в системах электроснабжения железных дорог / А. В. Крюков, А. П. Куцый, А. В. Черепанов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – Том 1. – С. 588–593. – Текст : непосредственный.

12. Брылев, В. А. Усиление систем внешнего и тягового электроснабжения на участке Тайшет–Тулун с учетом перспективных объемов перевозки грузов / В. А. Брылев, Е. Ю. Пузина // Молодая наука Сибири. – 2020. – № 2 (8). – С. 162–170. – Текст : непосредственный.

13. Khudonogov, A. M. Reliability Analysis of Power Equipment of Traction Rolling Stock Within the Eastern Region / A. M. Khudonogov, I. A. Khudonogov, E. Y. Dulskiy, P. V. Ivanov, I. O. Lobytsin, A. A. Khamnaeva. – IOP Conference Series: materials Science and Engineering International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, Sib Trans 2019. – 2020. – С. 012018. – Текст : непосредственный.

К.В. Менакер, Т.В. Ежиков, П.Е. Неугодников
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНДУКТИВНО-ПЕТЛЕВОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ФИКСАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ

Проблема дорожно-транспортных происшествий на сети железных дорог Российской Федерации стоит остро. Из года в год на железнодорожных переездах фиксируется более двухсот аварий, которые приводят к гибели людей и большим экономическим издержкам. Фиксация автотранспортных средств на закрытых переездах с помощью индукционных датчиков позволит своевременно передать соответствующую информацию членам локомотивных бригад приближающих поездов и снизить вероятность столкновения транспортных средств.

В данной работе приводятся результаты исследований по выявлению возможности применения горочных индуктивно-петлевых датчиков, применяемых для контроля подвижного состава, для решения указанных задач.

Ключевые слова: индуктивно-петлевой датчик, железнодорожный переезд, автотранспортное средство, подвижной состав, дорожно-транспортное происшествие.

Индуктивно-петлевые датчики (ИПД) применяются на железнодорожном транспорте в качестве альтернативы рельсовых цепям на сортировочных станциях для контроля занятости или свободности стрелочных и бестрелочных секций [1]. Однако, ИПД, в первую очередь разрабатывались для фиксации вагонов, металлоемкость которых составляет несколько десятков тонн. Целью данного исследования была опытная проверка возможности применения ИПД для фиксации легковых и грузовых автотранспортных средств, масса которых на порядок меньше массы различных типов железнодорожных вагонов.

ИПД состоит из электронного блока управления, размещаемого в путевых ящиках, и индуктивного шлейфа, фиксируемого вдоль рельсовых линий (рис. 1).

Рис. 1. Индуктивно-петлевой датчик

Конфигурация и длина шлейфа может отличаться в зависимости от типа контролируемой секции и варьироваться от 6 до 9 м. Основные технические характеристики ИПД представлены в Таблице [2].

Таблица

Технические характеристики ИПД

Диапазон рабочих температур	от - 45 до + 55 градусов
Средняя наработка на отказ датчика не менее	8000 ч
Полный срок службы	Не менее 10 лет
Напряжение электропитания	(220±20) В
Частота питающего тока	(50±1) Гц
Сопротивление активной нагрузки на выходе	1440 Ом
Уровень напряжения выходного сигнала при свободности участка	(24,0 ± 2,4) В
Уровень напряжения выходного сигнала при занятости участка	не более 2,4 В
Сопротивление шлейфа	(2 ± 1) Ом
Индуктивность шлейфа	850...1050 мкГн.

Схема подключения электронного блока ИПД к шлейфу представлена на рис. 2.

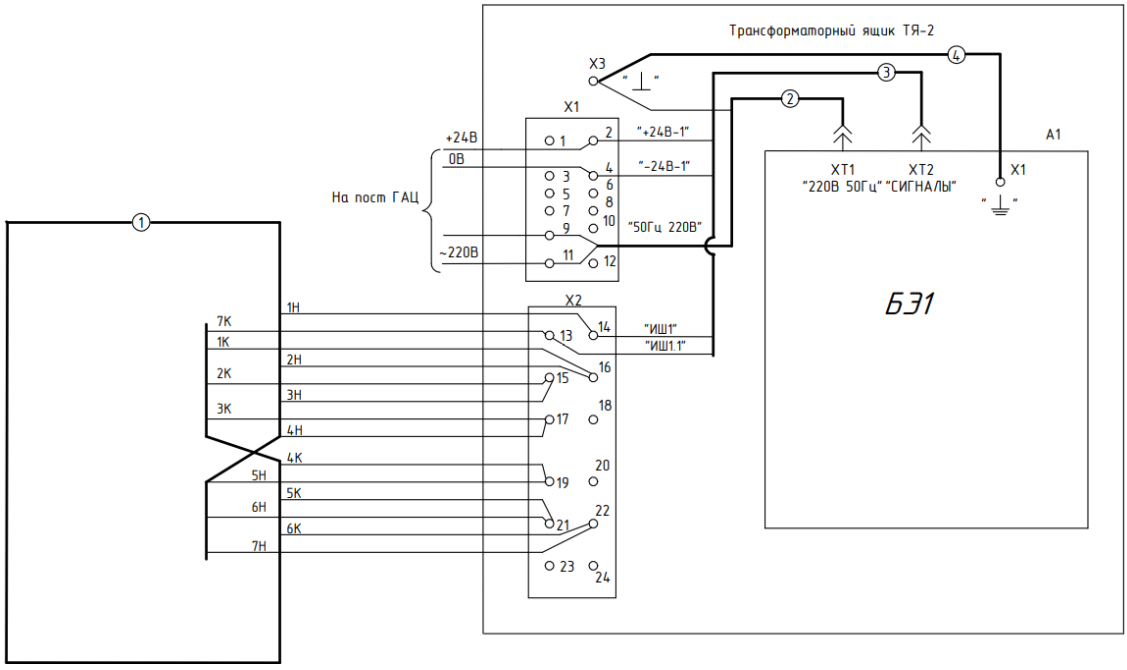


Рис. 2. Схема подключения электронного блока ИПД к индукционному шлейфу

Шлейф представляет собой семижильный кабель. Конец каждой жилы кабеля соединяется с началом второй и т.д. Таким образом, индуктивность шлейфа складывается из семи витков провода.

Испытания ИПД проводились на учебно-тренировочном полигоне института. Шлейф укладывался на проезжей части с различным числом витков. Производилась предварительная настройка ИПД (при свободном от автотранспортного средства шлейфе) путем нажатия кнопки «НАСТРОЙКА» и одновременного включения питания электронного блока. По окончании настройки загорается индикаторный светодиод «ВЫХОД» и появляется выходное постоянное напряжение 24 В. При заезде автотранспортного средства светодиод «ВЫХОД» должен был погаснуть и напряжение на выходе устройства уменьшиться до значения менее 2,4 В.

На рис. 3-4 представлены результаты проведенных испытаний.

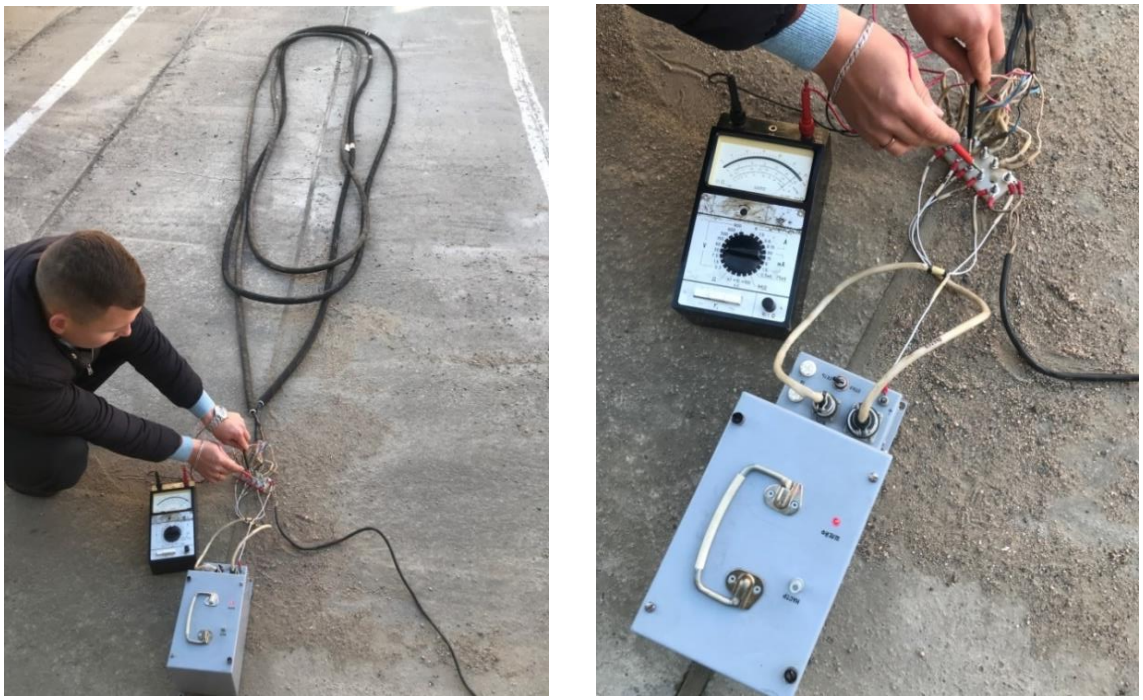


Рис. 3. Срабатывание ИПД при отсуствии автотранспортного средства (шлейф 3 витка, выходное напряжение 24 В)

Рис. 4. Отключение ИПД при наличии автотранспортного средства

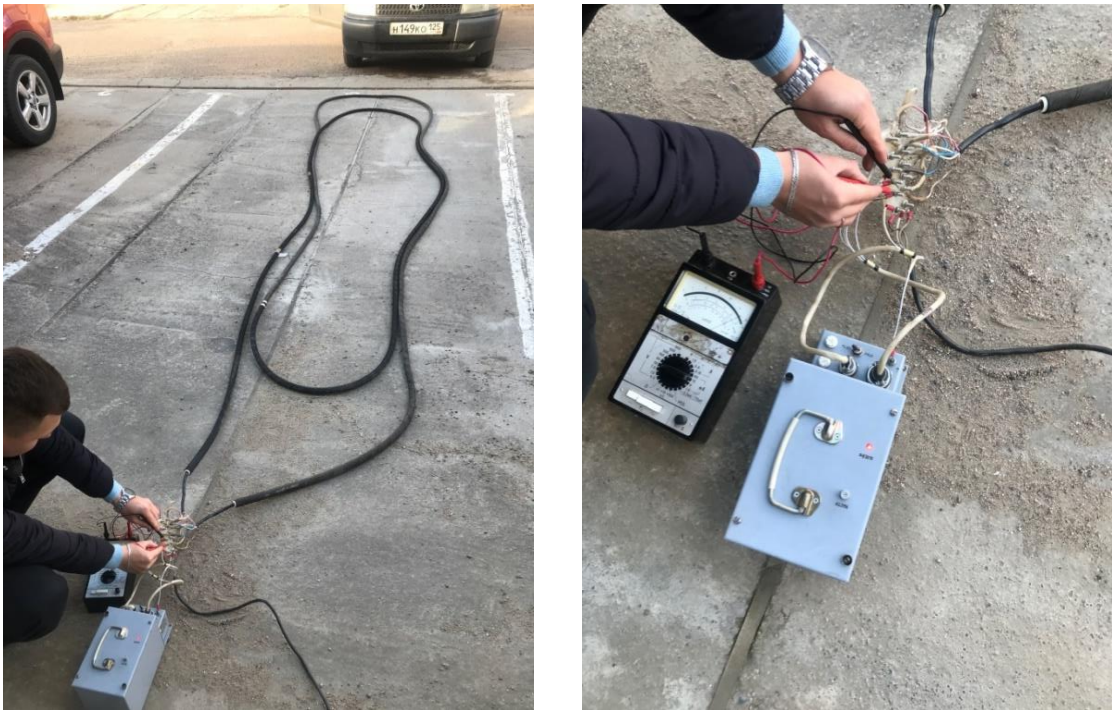


Рис. 5. Срабатывание ИПД при отсутствии автотранспортного средства (шлейф 2 витка, выходное напряжение 24 В)

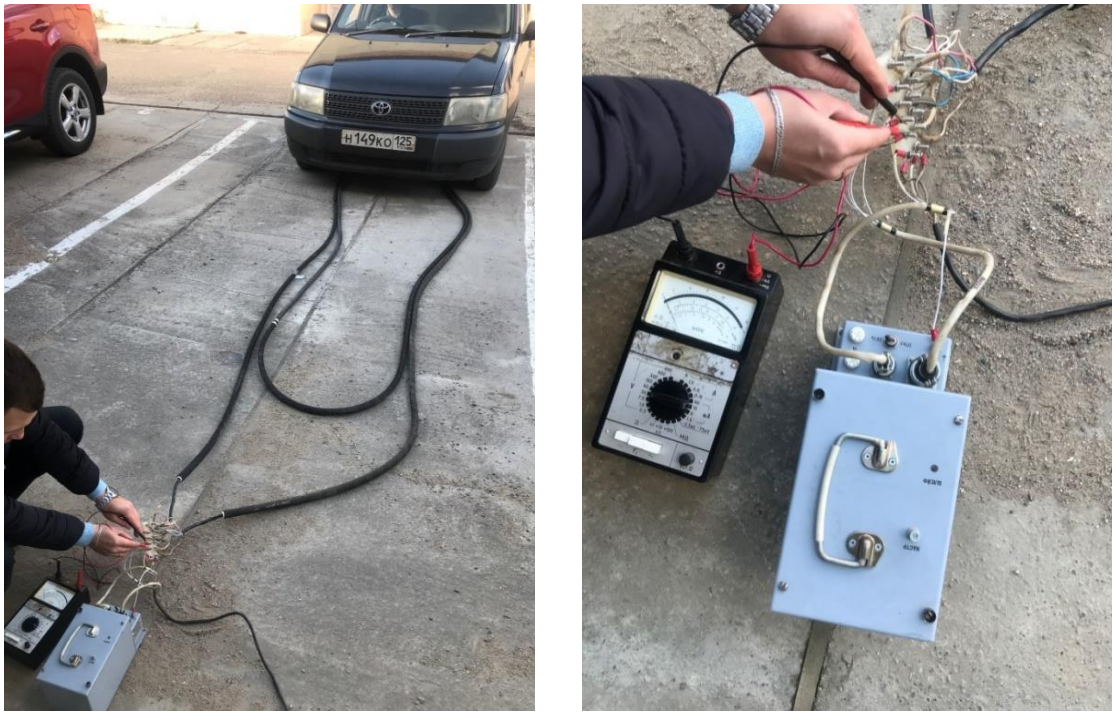


Рис. 6. Отключение ИПД при наличии автотранспортного средства

Рис. 7. Срабатывание ИПД при отсутствии автотранспортного средства (шлейф 1 виток в виде «восьмерки», выходное напряжение 24 В)

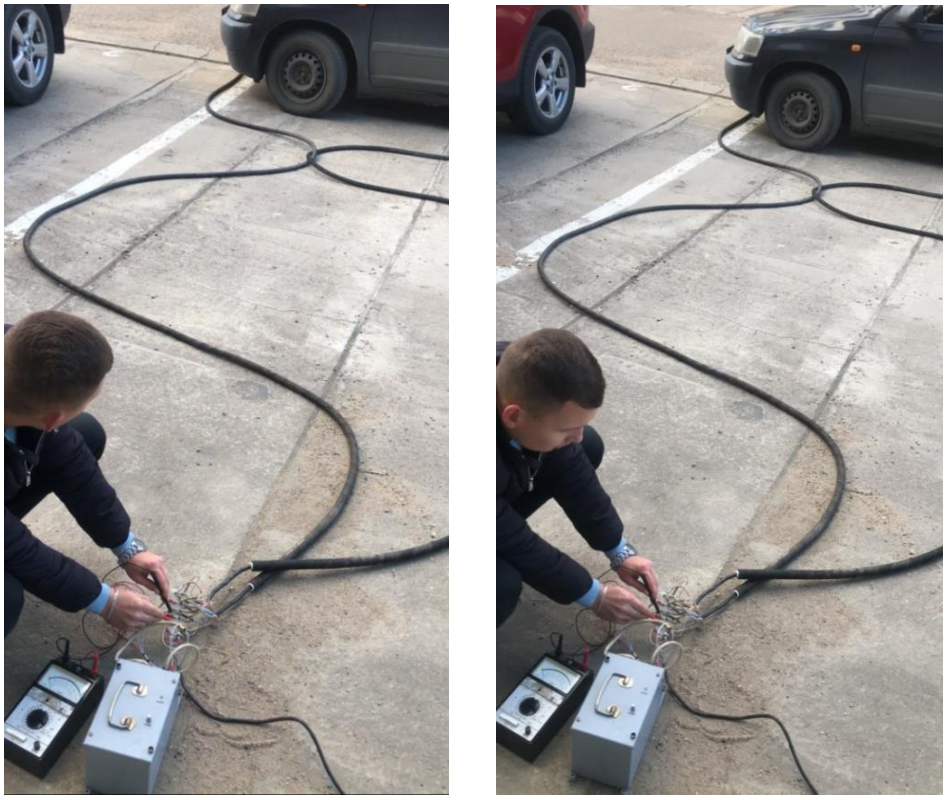


Рис. 8. Отключение ИПД при наличии автотранспортного средства

Таким образом, результаты эксперимента полностью подтвердили возможность применения ИПД для фиксации легковых, а тем более грузовых автотранспортных средств на закрытых переездах.

Библиографический список

1. Ляной, В. В. Обеспечение безопасности движения железнодорожного транспорта на основе совершенствования индуктивных датчиков регистрации колеса / В. В. Ляной // Транспорт Урала. – 2016. – № 2(49). – С. 93–98. – DOI 10.20291/1815-9400-2016-2-93-98. – EDN WCKOEH. – Текст : непосредственный.

2. Датчик индуктивно-проводной ИПД. Руководство по эксплуатации 36961.00.00 РЭ. – Текст : непосредственный.

3. Володин, В. Я. LTspice компьютерное моделирование электронных схем. – Санкт-Петербург : БВХ-Петербург, 2010. – 392 с. – Текст : непосредственный.

В.Л. Незевак, С.С. Самолинов
Омский государственный университет путей сообщения,
г. Омск, Россия

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

В статье рассматриваются актуальные вопросы совершенствования расчетов и разработки схемных решений при использовании систем накопления электроэнергии в электроэнергетике, в частности в системах тягового электроснабжения. Представленный обзор позволяет обозначить перспективные направления исследований рассматриваемой тематике в части разработки схем замещения для различных задач, схем двунаправленных преобразователей постоянного тока в постоянный и постоянного в переменный, построения гальванической развязки и др. Приведены основные схемы преобразователей для систем накопления электроэнергии, которые могут найти применение в электроэнергетике, системе тягового электроснабжения, системах с распределенной генерацией и возобновляемыми источниками электроэнергии.

Ключевые слова: система накопления электроэнергии, схема замещения, система тягового электроснабжения, алгоритм управления, двунаправленный преобразователь, инвертор, распределенная система генерации, возобновляемые источники.

Развитие распределенных систем генерации электроэнергии, возобновляемых источников энергии и задачи по оптимизации режимов работы электроэнергетики обусловили рост количества исследовательских проектов и пилотных проектов по применению систем накопления электроэнергии. Широкое распространение электроэнергетики привело к соответствующей географии исследований и работ в данной области.

Имеющийся мировой опыт в области исследования и опыта эксплуатации систем накопления электроэнергии позволяет выделить основные актуальные вопросы работы и обозначить перспективу дальнейших работ.

Ввиду большого количества исследований зарубежных ученых ниже рассмотрены одни из основных задач данной тематики, в том числе, относящиеся к системам тягового электроснабжения железнодорожного транспорта.

А. Решение задачи оптимизации электропотребления в системе тягового электроснабжения

Задача снижения тягового электропотребления относится к оптимизационным и основана на поиске оптимальных параметров, режимов и алгоритмов управления устройствами системы электроснабжения. Подходы к решению указанной задачи основаны на формировании схемы замещения системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава.

Один из подходов заключается в составлении схемы замещения нелинейной системы. Решение для составленной схемы замещения позволяет решить указанную задачу для системы постоянного тока.

Принимая в качестве исходных данных профиль вождения и настройки работы устройства накопления, как показано в статье [1], применяя эволюционный алгоритм оптимизации можно получить результаты решения оптимизационной задачи. Полученные результаты показывают возможность снижения общего электропотребления на 15–30% для двух различных сценариев на примере сети Merseyrail в Великобритании. Указанная сеть Merseyrail относится к пригородным железным дорогам, включая некоторое количество станций метро. Ядро сети образовано двумя выделенными подземными электрифицированными линиями, известными как Northern Line и Wirral Line в центральных районах Ливерпуля и Биркенхед. Третья линия сети называется City Line. Сеть является достаточно разветвленной и насчитывает несколько десятков станций, пассажирооборот составляет около 34 миллионов пассажиров в год.

Результаты решения оптимизационной задачи получены по сформированной схеме замещения, приведенной на рис. 1.

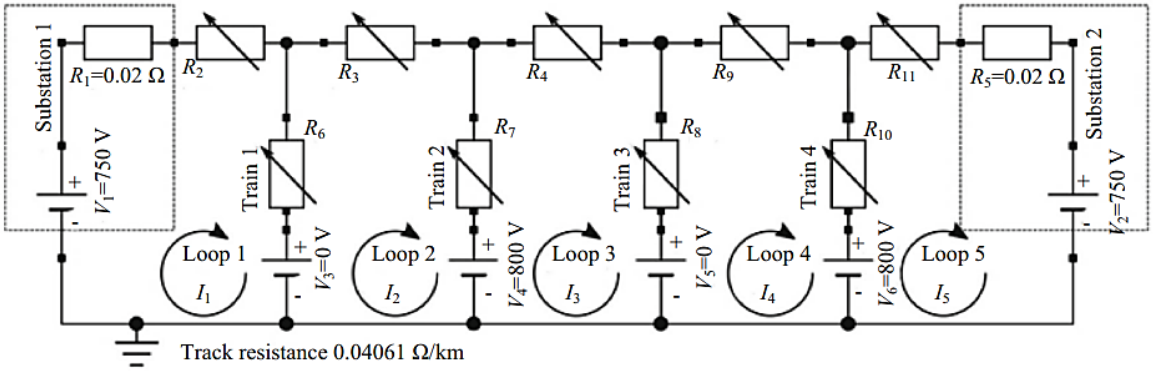


Рис. 1. Схема замещения системы тягового электроснабжения Merseyrail (Великобритания)

На представленной схеме авторы рассматривают систему тягового электроснабжения, содержащую две тяговые подстанции (Substation 1, 2), четыре электропоезда (Train 1 – 4), два из которых находятся в режиме тяги, два других – в режиме рекуперативного торможения. Контактная сеть и электропоезда представлены в виде переменных сопротивлений ($R_{2,3,4,9,11}$) и ($R_{6,7,8,10}$). Сопротивления подстанций приняты постоянными сопротивлениями $R_{1,5}$, преобразователи подстанций – источником постоянного напряжения 750 В. Удельное сопротивление рельсовой сети принято 0,04601 Ом/км.

По результатам исследований авторы делают вывод о бóльшем эффекте при применении устройств накопления в системе электроснабжения по сравнению с эффектом при применении устройств на борту электроподвижного состава.

В. Преобразователь постоянного тока в постоянный

Применение преобразователей постоянного тока в постоянный позволяет отказаться от гальванической развязки и выполнить регулирование напряжения без регулировочных трансформаторов.

В исследовании [2] рассмотрен двунаправленный повышающий преобразователь. Преобразователь постоянного тока в постоянный имеет простую вспомогательную схему. Вспомогательная схема использует только один переключатель и пару соединенных катушек индуктивности для обеспечения плавного переключения в обоих направлениях потока мощности (рис. 2).

Режим плавного переключения не зависит от изменения нагрузки и рабочего цикла. Устройства хранения энергии, такие как батареи и суперконденсаторы, обычно используются в системах, использующих двунаправленные преобразователи в качестве источника низкого напряжения. Батареям требуется постоянный ток для продления срока их службы и повышения эффективности их работы. Предлагаемый преобразователь имеет непрерывный ток на стороне низкого напряжения в обоих режимах работы, в отличие от аналогичных преобразователей, в которых используются соединенные катушки индуктивности для обеспечения режима плавного переключения. Полностью плавное переключение, включая состояние пассивного выключения (ZCS) всех диодов при выключении, значительно повысило общую эффективность преобразователя. Принципы работы, математические выводы и условия плавного переключения предлагаемого преобразователя анализируются как в режимах работы с повышением, так и с понижением напряжения. Теоретический анализ и прототип предлагаемого преобразователя реализован с мощностью и частотой 100 Вт и 100 кГц соответственно.

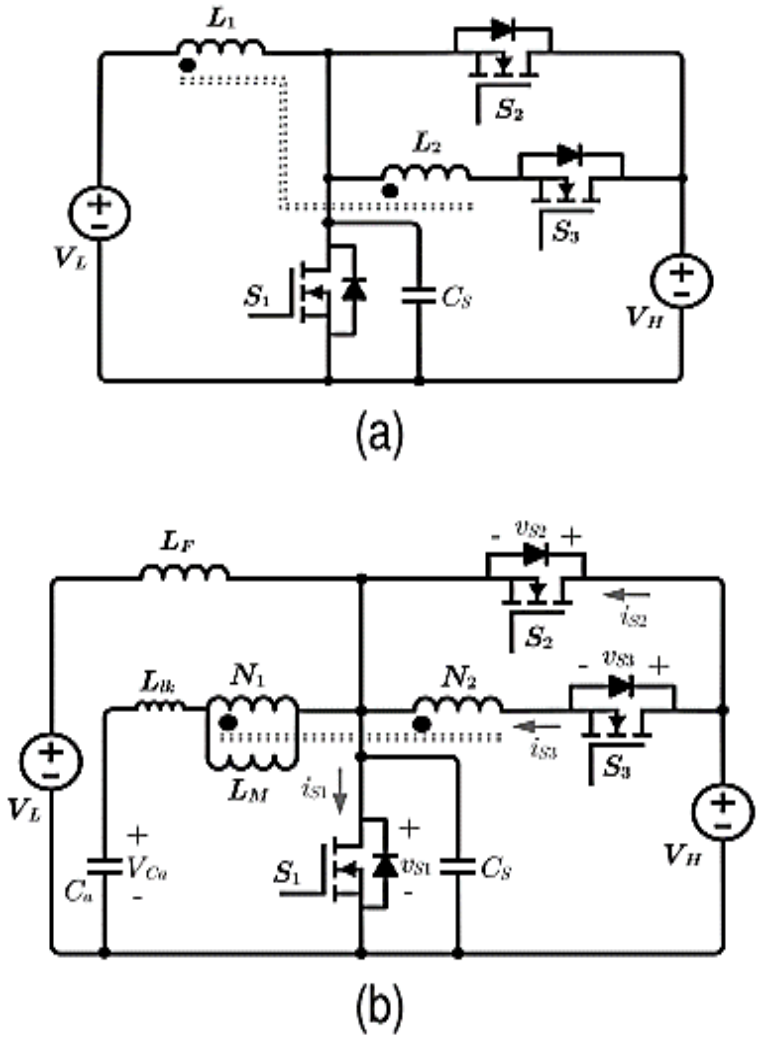


Рис. 2. Преобразователь: *a* – с низким напряжением на стороне пульсирующего тока; *b* – с постоянным током и низким напряжением

Разработка технологий для повышения производительности интегрированных преобразователей фотоэлектрических (фотоэлектрических) модулей (MICS) имеет основополагающее значение для расширения использования систем распределенной генерации с фотоэлектрическим источником питания в электрических сетях. Требуются повышающие преобразователи постоянного тока для повышения низкого напряжения фотоэлектрического модуля до более высокого напряжения, чтобы соответствовать требованиям к напряжению шины постоянного тока сетевых инверторов. Исследования в данном направлении позволяют выделить основные преимущества и недостатки повышающих преобразователей, среди которых повышающие преобразователи постоянного тока на ос-

нове магнитной связи и коммутируемого конденсатора, связанные с фотоэлектрическими приложениями, с простым и объективным анализом принципов их работы, но достаточным для понимания их способности обеспечивать высокий коэффициент усиления по напряжению. Представленные подходы позволяют определить способ размещения элементов накопления энергии для создания новых топологий преобразователей постоянного тока, чтобы достичь высокого усиления по напряжению, и как проанализировать возможности усиления по высокому напряжению сложных топологий [4].

В частности, в статье [5] рассматривается неизолированный двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный, предназначенный для заряда и разряда аккумуляторной батареи по одной цепи. Указанный преобразователь предназначен для использования в источниках бесперебойного питания и гибридных электромобилях. Предлагаемый двунаправленный преобразователь работает в режиме переключения нулевого напряжения (ZVS) и обеспечивает большой рабочий диапазон напряжений в обоих режимах работы. Это позволяет схеме повышать уровень низшего напряжения аккумуляторной батареи до требуемого высшего уровня напряжения постоянного тока и наоборот.

Предлагаемый двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный приведен на схеме на рис. 3.

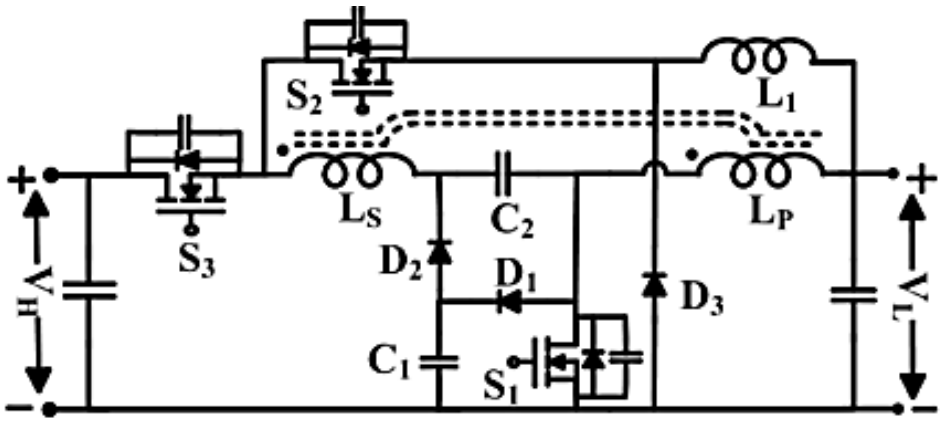


Рис. 3. Схема двунаправленного преобразователя постоянного тока в постоянный

Двунаправленная работа преобразователя достигается за счет использования трех активных переключателей, роль которых выполняют транзисторы $S_1 – S_3$. Переключатели позволяют управлять направлением протекания тока и тем самым повышать напряжение аккумулятора до требуемого уровня выходного напряжения. Экспериментальные резуль-

таты прототипа преобразователя мощностью 300 Вт показали его работоспособность. Максимальная эффективность работы на уровне 96 % достигается при половинной нагрузке для режима работы повышения уровня напряжения и 92 % для режима работы с понижением напряжения.

С. Исследование работы двунаправленного преобразователя постоянного тока в переменный

Работа устройств накопления электроэнергии в системах переменного тока невозможна без двунаправленного преобразователя переменного тока в постоянный и наоборот. Указанные преобразователи применяют в сетевых накопителях электроэнергии и могут применяться в системах тягового электроснабжения переменного тока.

Исследование схемы двунаправленного преобразователя постоянного тока в переменный показано в статье [6]. В работе рассмотрена активная топология системы накопления электроэнергии. Система содержит источник напряжения, выпрямительно-инверторный преобразователь и согласующий трансформатор. При работе преобразователя переменное напряжение (v_m) создается за счет модуляции постоянного напряжения (v_{dc}). Топология системы накопления приведена на рис. 4.

Схема содержит источник постоянного напряжения v_{dc}, подключенный к двунаправленному преобразователю DC/AC, реактор с индуктивностью X_s, согласующий трансформатор X_t, систему управления работой преобразователя (Low level control).

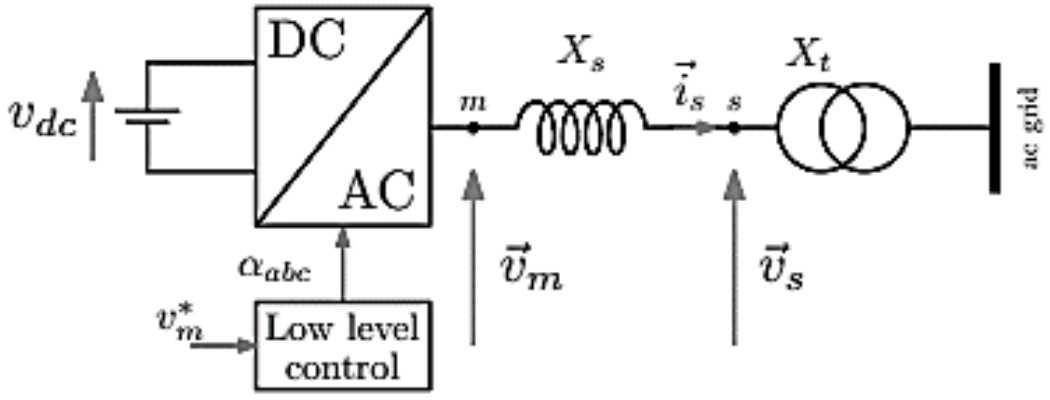


Рис. 4. Топология системы накопления с преобразователем постоянного тока в переменный

Полупроводниковые приборы преобразователя используются для модуляции постоянного тока, управляются импульсами включения/выключения с помощью системы управления так, чтобы средние

значения v_m соответствовали эталонному (напряжению v^*_m). При создании алгоритмов системы управления можно использовать различные стратегии регулирования.

D. Исследования сетевых инверторов

Схемные решения в области построения инверторов, которые могут использоваться для устройств возобновляемой энергетики и систем накопления электроэнергии, разнообразны и зависят от мощности и других требований, предъявляемых к эффективности, к.п.д., качеству электроэнергии и др.

Гальваническая развязка позволяет разделить цепи постоянного и переменного тока и повысить надежность работы возобновляемых источников энергии или системы накопления электроэнергии в целом.

Одним из решений по гальванической развязке является применение изолированного сетевого инвертора с плавным переключением, основанного на преобразователях матричного типа [7]. Топология указанного преобразователя основана на схеме Н-моста с питанием от источника постоянного тока и прямого матричного преобразователя на стороне сети, которые связаны высокочастотным трансформатором. Питаемый током Н-мост на первичной стороне позволяет сглаживать ток источника постоянного тока и регулировать уровень постоянного тока. Отсутствие элемента накопления энергии постоянного тока в одноступенчатом матричном преобразователе может продлить срок службы системы. Для матричного преобразователя на стороне сети предложена схема плавного переключения на основе пространственно-векторной модуляции, а в схеме Н-моста с питанием от постоянного тока принят метод коммутации на основе предложенной модели. С помощью предлагаемых методов модуляции плавное переключение может быть реализовано для всех устройств в преобразователе.

Топологии предлагаемых изолированных трехфазных инверторов приведены на рис. 5. В схемах представленных преобразователей гальваническая развязка выполнена на основе разделительного трансформатора. Схемы содержат DAB (двойной активный мост), inverter (инвертор), filter (фильтр), grid (сеть), voltage-fed H-bridge (Н-мостовой преобразователь напряжения), matrix converter (матричный преобразователь), current-fed H-bridge (Н-мостовой преобразователь тока).

Схема изолированного инвертора для преобразования постоянного тока в переменный, содержащая матричный преобразователь, приведена на рис. 6. Инвертор тока DC/AC предназначен для преобразования напряжения постоянного тока источника с напряжением u_{in} в переменный напряжением u_i на первичной стороне и u_s на вторичной. Инвертор

содержит катушку с индуктивностью L_m, IGBT-модули $S_1 – S_4$, разделительный трансформатор с индуктивность L_1 и количеством витков n_p/n_s. Матричный преобразователь собран в виде шестифазной мостовой схемы для преобразования однофазного переменного тока в трехфазный с IGBT-модулями $S_{11} – S_{26}$. На выходе инвеотора подключен выходной фильр О, содержащий емкость C_f и индуктивность L_f.

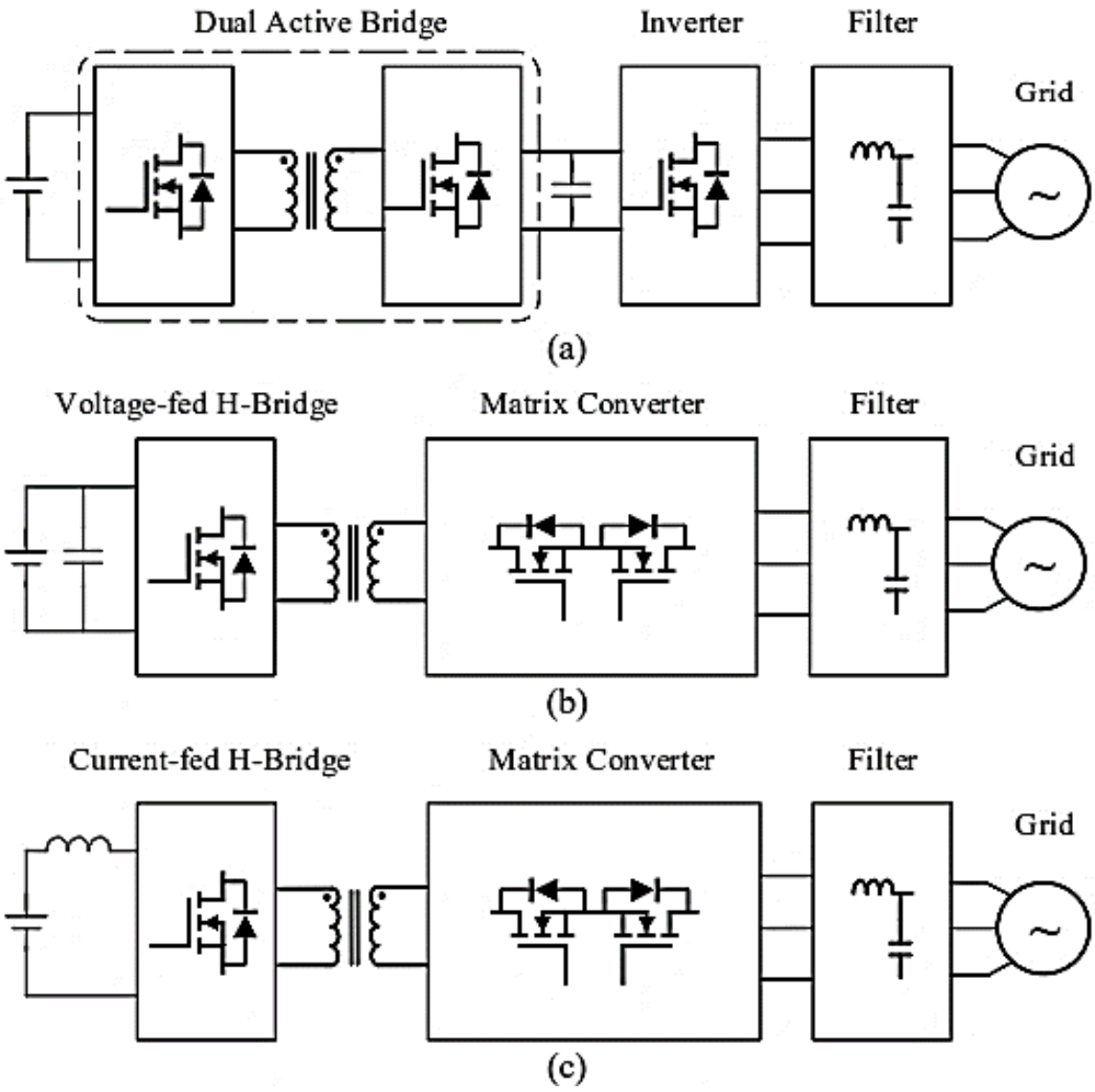


Рис. 5. Топология изолированного инвертора: *a* – инвертор, подключенный к двойному активному мосту (DAB); *b* – изолированный инвертор напряжения с матричным преобразователем; *c* – изолированный инвертор тока с матричным преобразователем

Возобновляемые источники энергии, выработка энергии которых зависит от первичного источника энергии, не обеспечивают надежное питание потребителей. С целью повышения надежности и эффективности их работы с ними совместно используются системы хранения электроэнергии.

Одна из известных схем солнечной электростанции содержит солнечные панели, преобразователь, систему накопления, которые связаны с сетью переменного тока, являющейся источником для потребителей [8].

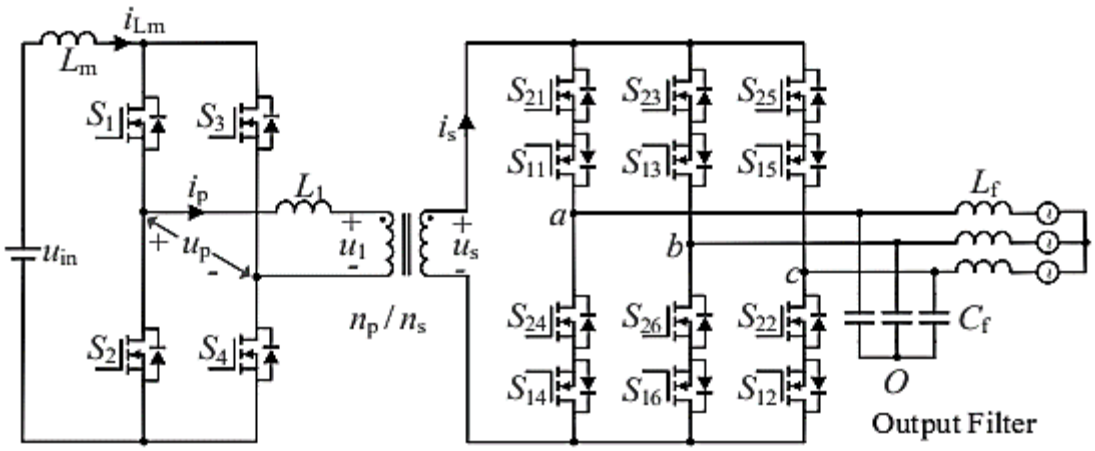


Рис. 6. Схема изолированного инвертора DC/AC тока

E. Система хранения электроэнергии солнечной электростанции

Управление системой реализуется таким образом, что активная потребляемая мощность нагрузок подается от солнечных панелей и сети переменного тока. Регулятор мощности работает в различных режимах. Логика управления для преобразователя напряжения, связанного с сетью (VSC), позволяет обеспечить эффективную работы солнечных панелей, системы хранения электроэнергии и внешней сети переменного тока. Система позволяет решать задачу повышения качества электроэнергии совместно с выработкой электроэнергии от солнечных панелей. Каскадное подавление сигнала с задержкой (CDSC), контур фазовой автоподстройки частоты (PLL) реализованы для синхронизации сети во время искажения напряжения сети. Разработанное управление реализуется в контроллере реального времени (dSPACE1202). В результате экспериментов подтверждена эффективность реализованного управления в различных условиях эксплуатации, таких как выработка солнечной энергии, колебания нагрузки и отключение сети переменного тока.

Исследуемая схема солнечной электрической станции приведена на рис. 7 и содержит несколько модулей. Модуль преобразователя (PV boost converter) содержит солнечные панели (PV Array), катушку с индуктивностью L_{bs} (PV boost converter), диод D_b, конденсатор C_{dc} и инвертор (VSC) на IGBT-модулях S_4 – S_7. Система хранения электроэнергии (BES) подключена через катушку с индуктивностью L_b, ключи управления режимами заряда и разряда S_1 и S_2. Фильтр (RC-filter) подключен к шинам переменного тока, к которым подключена нелинейная нагрузка (nonlinear loads).

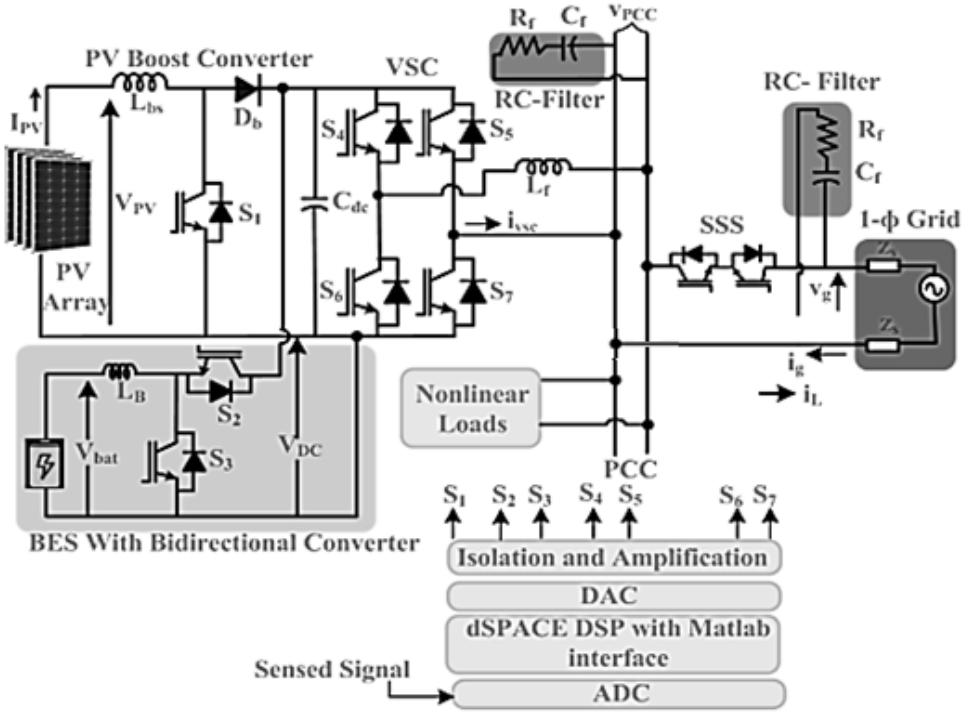


Рис. 7. Конфигурация солнечной станции с системой накопления электроэнергии

Согласование работы с сетью переменного тока осуществляется с помощью IGBT-модулей (SSS), состояние которых позволяет обеспечить параллельную работу с однофазной сетью (grid).

F. Управление системой хранения энергии при работе в сетях с распределенной генерацией

Регулирование работы систем хранения электроэнергии для решения задач сглаживания колебаний мощности и баланса электроэнергии исследуется в работе [9]. Предлагается использовать стратегию динамического регулирования выходной мощности двунаправленного преобра-

зователя переменного/постоянного тока, подключенного к сети с распределенной генерацией переменного и постоянного тока. Регулирование выполняется на основе определения напряжения постоянного тока и частоты переменного напряжения. Предлагаемый метод может быть применен к различным линейным сопротивлениям соединений переменного тока и нагрузки. В гибридном накопителе энергии регулятор сброса используется для автоматической регулировки выходной мощности аккумулятора и суперконденсатора. Регулирование обеспечивает высокочастотную составляющую мощности нагрузки, чтобы уменьшить влияние, вызванное изменением нагрузки батареи и напряжения шины.

Моделирование работы гибридной системы накопления электроэнергии выполнено с помощью Matlab/Simulink, в которой создана имитационная модель гибридной электросети. Результаты моделирования показывают, что стратегия распределенного управления обеспечивает устойчивую работу и стабилизацию напряжения гибридной электросети. Топология преобразователя приведена на рис. 8.

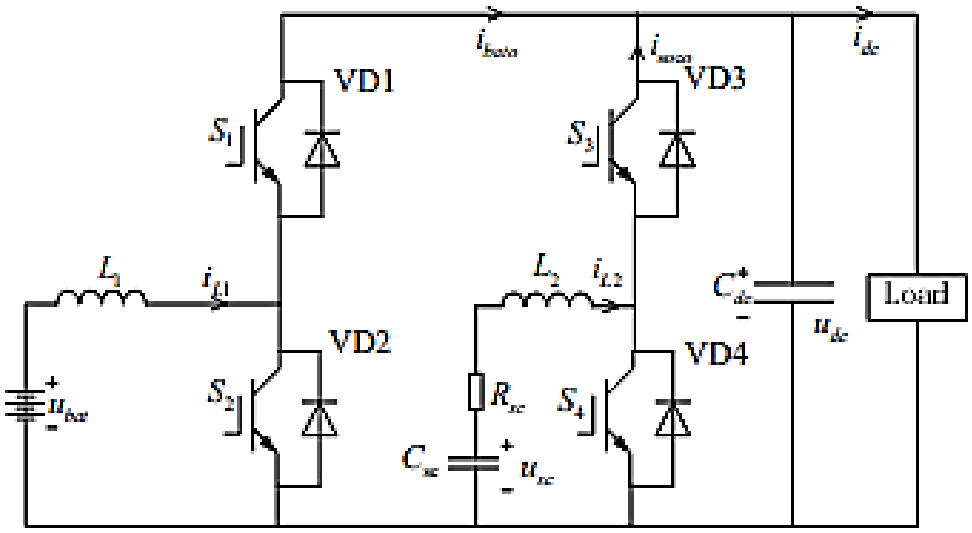


Рис. 8. Топология гибридного накопителя электроэнергии

Подключение аккумуляторной батареи и суперконденсатора выполнено с помощью IGBT-модулей S_1– VD_1 – S_4– VD_4. Управление модулями позволяет регулировать ток аккумуляторной батареи и суперконденсатора и суммарный ток на нагрузке (load).

Таким образом, исследования, выполненные в области применения систем накопления, посвящены следующим перспективным направлениям: синтез схемы замещения электроэнергетической системы, содер-

жащей устройство накопления электроэнергии; разработка двунаправленного преобразователя электроэнергии для сетей постоянного и переменного тока; разработка схем преобразования для различных задач распределенной генерации и возобновляемой энергетики. Применительно к системе тягового электроснабжения перспективными исследованиями являются [10, 11]: разработка технических схем подключения устройств накопления электроэнергии в системе тягового электроснабжения постоянного и переменного тока; разработка технических требований по присоединению к системе тягового электроснабжения; разработка оптимальных алгоритмов управления и устройств регулирования режимов работы систем накопления электроэнергии для решения различных задач.

«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00002. – URL : https://rscf.ru/project/22-29-00002/».

Библиографический список

1. Liu, J., Hu, C., Kimber, A., & Wang, Z. (2020). Uses, Cost-Benefit Analysis, and Markets of Energy Storage Systems for Electric Grid Applications. Journal of Energy Storage, 32, 101731. doi:10.1016/j.est.2020.101731. – Текст : непосредственный.

2. Karimi, M., Farzanehfard, H., Packnezhad, M., & Esteki, M. (2021). Bidirectional ZVS Buck-Boost Converter with Single Auxiliary Switch and Continuous Current at Low Voltage Source. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1–1. doi:10.1109/tie.2021.3065590. – Текст : непосредственный.

3. Nallaperuma, S., Fletcher, D., & Harrison, R. (2021). Optimal control and energy storage for DC electric train systems using evolutionary algorithms. Railway Engineering Science. doi:10.1007/s40534-021-00245-y. – Текст : непосредственный.

4. Márcio R. S. de Carvalho, Neto RC, Barbosa EJ, Limongi LR, Bradaschia F, Cavalcanti MC. An Overview of Voltage Boosting Techniques and Step-Up DC-DC Converters Topologies for PV Applications. Energies. 2021; 14(24):8230. https://doi.org/10.3390/en14248230. – Текст : непосредственный.

5. Aamir, M., Mekhilef, S., & Kim, H.-J. (2015). High-Gain Zero-Voltage Switching Bidirectional Converter With a Reduced Number of Switches. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 62(8), 816–820. doi:10.1109/tcsii.2015.2433351. – Текст : непосредственный.

6. Santos Pereira, Guilherme. (2020). Stability of power systems with high penetration of sources interfaced by power electronics. 10.13140/RG.2.2.34989.00481. – Текст : непосредственный.

7. Xu, Y., Wang, Z., Liu, P., Zou, Z.-X., & Xiao, H. (2021). Current-Fed Isolated Three-Phase Matrix-Type Grid In-verter With Soft-Switching Capability. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1–1. doi:10.1109/tie.2021.3073306. – Текст : непосредственный.

8. Singh, Y., Singh, B., & Mishra, S. (2021). An Uninterruptable PV Array-Battery Based System Operating in Different Power Modes with Enhanced Power Quality. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1–1. doi:10.1109/tie.2021.3070506. – Текст : непосредственный.

9. Wang, Shudong & Qiu, Jinliang & Zhu, Liyang & Ding, Tin & Luai, Al-Madhehagi. (2018). Research on Control Strategy of Islanded Hybrid Microgrid Based on Hybrid Energy Storage. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 199. 052049. 10.1088/1755-1315/199/5/052049. – Текст : непосредственный.

10. Nezevak, V. L., & Cheremisin, V. T. (2020). Determination of Electric Energy Storage Units Parameters of Direct Current Traction Power Supply in Conditions of Goods Traffic Dominance. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – URL : https://doi.org/10.1109/fareastcon50210.2020.9271611. – Текст : непосредственный.

11. Nezevak, V. L., & Shatokhin, A. P. (2019). Control of Hybrid Electric Energy Storage Unit Parameters in Electric Traction System. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). doi:10.1109/fareastcon.2019.8934204. – Текст : непосредственный.

В.Л. Незевак, Ю.В. Кондратьев, М.М. Никифоров
Омский государственный университет путей сообщения,
г. Омск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАТИЧЕСКИХ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Тяговая нагрузка эксплуатируемого электроподвижного состава переменного характеризуется относительно низким коэффициентом мощности. Указанное обстоятельство предопределило применение

устройств компенсации реактивной мощности в системе тягового электроснабжения для решения задач по повышению нагрузочной способности для обеспечения пропускной и провозной способности участка по устройствам электроснабжения.

Современные устройства компенсации реактивной мощности, выполненные на базе полупроводниковых приборов, позволяют решить задачу, связанную с перекомпенсацией. В связи с отличием параметров системы тягового электроснабжения и нагрузки электроподвижного состава, изменения уровня напряжения холостого хода на тяговых подстанциях внешняя характеристика регулирования устройств СГРМ и СТК нуждается в корректировке для повышения эффективности эксплуатации. Результаты исследований позволяют оценить эффект от полной компенсации реактивной мощности, диапазон полной компенсации суммарного реактивного тока, интегральную плотность вероятности, уровень напряжения холостого хода на тяговых подстанциях для сравнения и оценки эффективности реализованной устройствами СГРМ и СТК внешней характеристики.

Ключевые слова: устройства компенсации реактивной мощности, пост секционирования, внешняя характеристика, схема замещения, система тягового электроснабжения.

Применение средств компенсации реактивной мощности в системах тягового электроснабжения обусловлено необходимостью повышения пропускной и провозной способности. Размещение средств компенсации реактивной мощности на электроподвижном составе [1], на тяговых подстанциях или на линейных объектах системы тягового электроснабжения позволяет снизить реактивную составляющую тягового тока и добиться соответственного повышения напряжения в контактной сети и снижения потерь электроэнергии [2–4].

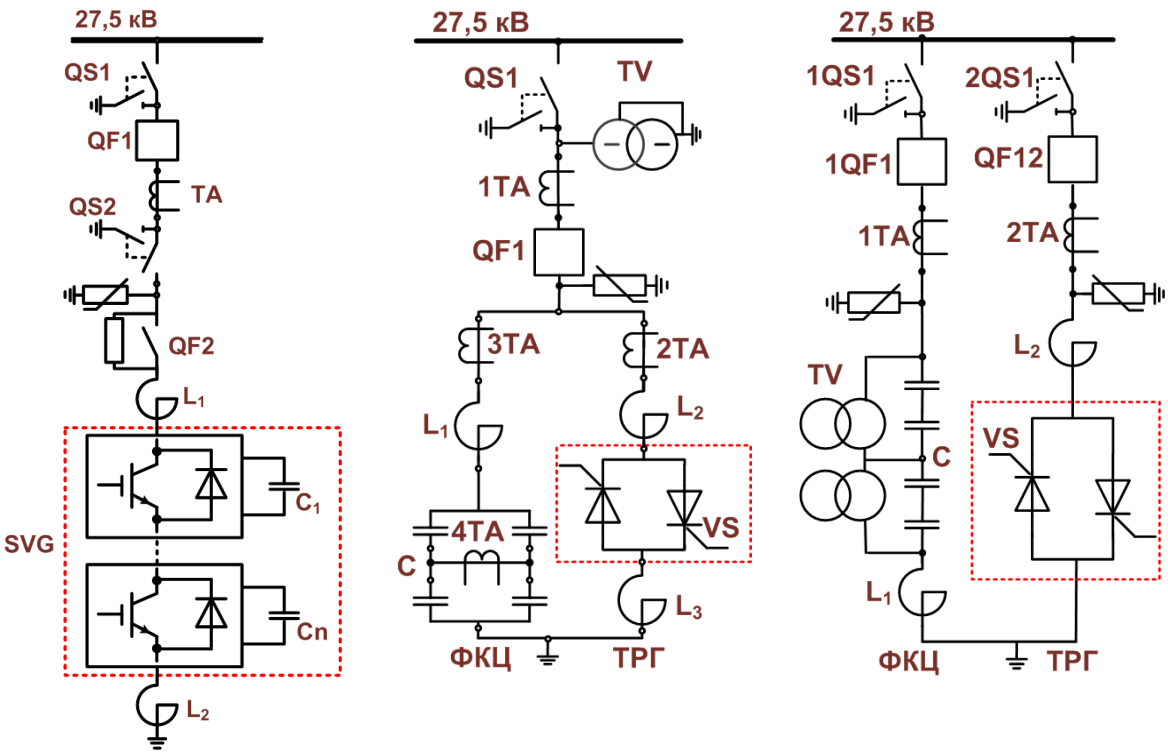
Ввиду изменения уровня потребляемой реактивной мощности в тяговой сети наиболее эффективным является применение регулируемых устройств компенсации, управление которыми реализуется плавно или ступенчато в зависимости от схемной реализации и вида компенсирующего устройства [5–8].

Рассмотрим устройства поперечной компенсации реактивной мощности с плавным регулированием на основе полупроводниковых приборов. В настоящее время применяются устройства на базе IGBT-, GTO- или модулей других типов, позволяющих регулировать емкостную или индуктивную составляющую тока.

Применение указанных устройств на участках, где эксплуатируются электровозы с высоким потреблением реактивной мощности позволяет регулировать напряжение в контактной сети. Как правило, места размещения устройств компенсации тяготеют к участкам с протяженными уклонами и горным типом профиля пути (III, IV). В связи с этим, в ряде случаев более эффективным является применение устройств компенсации на постах секционирования контактной сети.

На Западно-Сибирской железной дороге на постах секционирования контактной сети применяются следующие устройства поперечной компенсации реактивной мощности: статические генераторы реактивной мощности (СГРМ) и статические компенсаторы с одним или двумя присоединениями (СТК-1 или СТК-2 соответственно) (рис. 1).

Указанные устройства позволяют регулировать емкостную или индуктивную составляющую тока устройства соответственно. Основные технические характеристики применяемых устройств приведены в Таблице. Устройства типа СГРМ нашли применение на постах секционирования ПС Заринская, ПС Панкрушиха и ПС Тараданово, СТК-1 – Новая Дубрава, СТК-2 – на ПС Аламбай Западно-Сибирской железной дороги.



а *б* *в*

Рис. 1. Схемы главных электрических соединений:
СГРМ (а); СТК-1 (б); СТК-2 (в)

Таблица

Основные параметры СГРМ и СТК

Параметр	Тип устройства		
	СГРМ	СТК-1	СТК-2
Мощность, Мвар	6,7	6,7	6,7
Время отклика, мс	<5	30	100
L_1, мГн	11	48,5	54,53
L_2, мГн	11	340 (+L_3)*	143,71
C, мкФ	700	24,87	22,65
$f_{рез}$, Гц	–	145	144

Примечание. Суммарная индуктивность с учетом L_3.

Для исследования режимов напряжения на шинах поста секционирования (ПС Заринская) и нагрузки присоединений контактной сети смежных тяговых подстанция были выполнены соответствующие измерения напряжения, активной и реактивной мощности, потребляемой в межподстанционной зоне (рис. 2).

Для исследуемой межподстанционной зоны построена зависимость напряжения на шинах поста секционирования от суммарного тока присоединений контактной сети смежных тяговых подстанций (рис. 3).

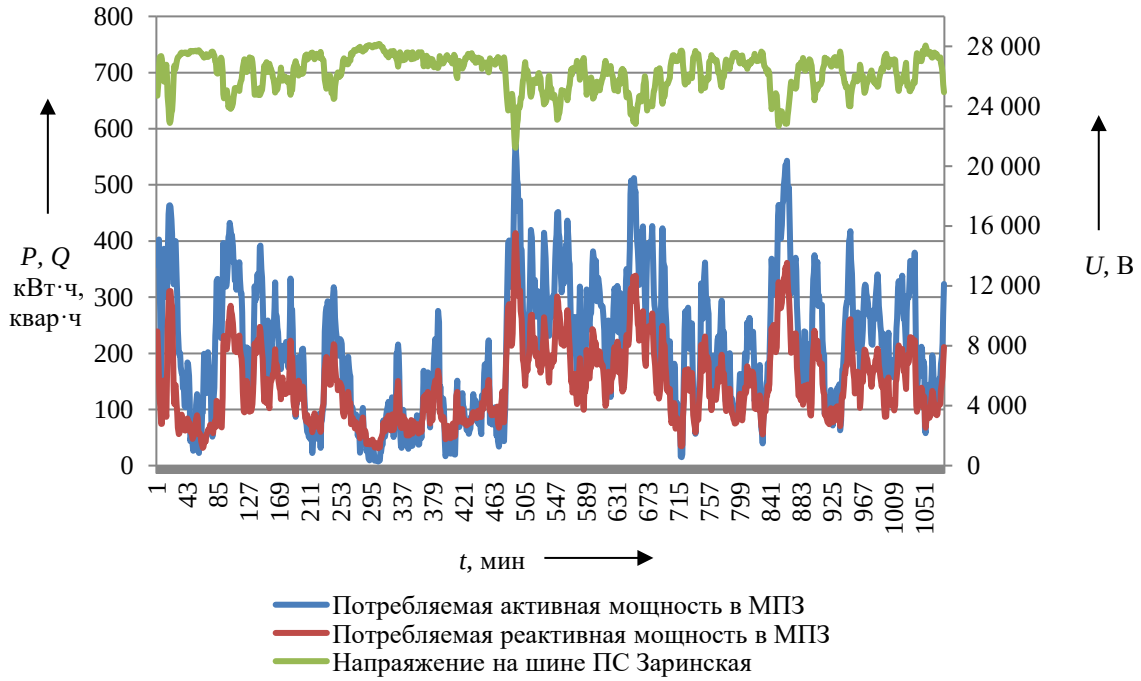


Рис. 2. Результаты измерения напряжения на шинах поста секционирования и тока тяговых подстанций

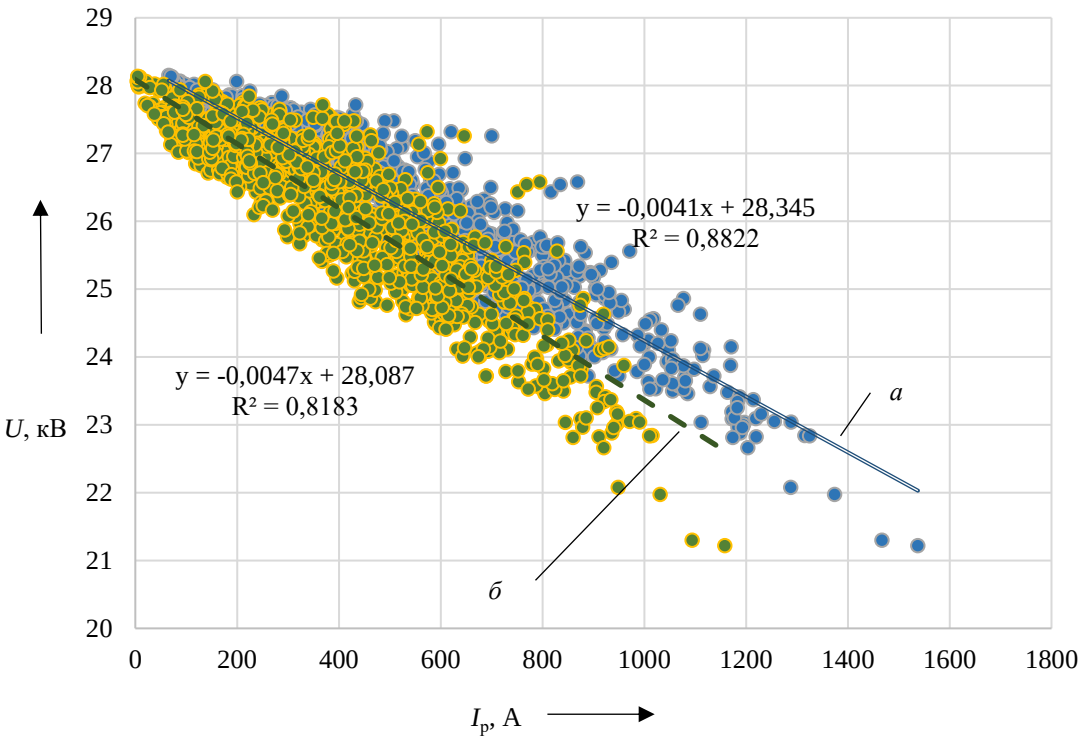


Рис. 3. Зависимость напряжения на шинах поста секционирования: при отсутствии компенсации (а); при компенсации (б)

По данным измерений, выполненных на посту секционирования, получены уравнения линейной регрессии, описывающие изменение напряжения на шинах поста секционирования в зависимости от активного тока I_a (коэффициент детерминации >0,8), потребляемого на межподстанционной зоне, кВ:

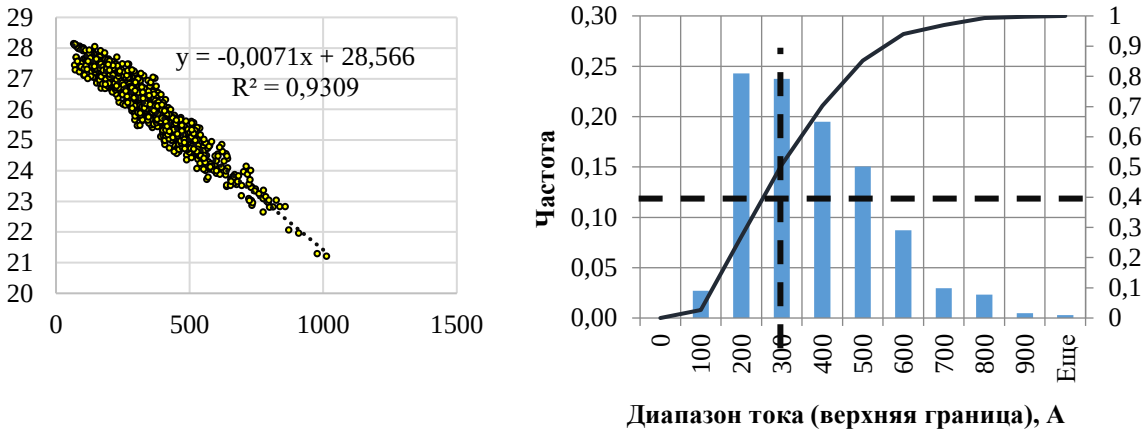
$$U = -0,0047 I_a + 28,1$$

и напряжения в зависимости от полного тока:

$$U = -0,0041 I + 28,3 .$$

Компенсация реактивного тока позволяет повысить напряжение на шинах поста секционирования в зависимости от тока нагрузки (см. рис. 3), оценка компенсации напряжения за счет работы устройства поперечной компенсации оценивается в среднем – как 0,6 В/1А.

Результаты измерений позволяют определить требуемый ток устройства компенсации реактивной мощности, расположенного на посту секционирования, как реактивную составляющую тягового тока в границах межподстанционной зоны (рис. 4).



а *б*

Рис. 4. Зависимость напряжения на шинах поста секционирования от реактивного тока (а) и распределение тока (б)

Максимальный ток рассматриваемого устройства компенсации на посту секционирования составляет 250 А. Применительно к полученному распределению реактивного тока для межподстанционной зоны, потребляемого тяговой нагрузкой, отмеченный диапазон токов от 0 до 300 А соответствует интегральной плотности вероятности на уровне 50 %. В остальных случаях компенсация реактивного тока является частичной и соответствует компенсации напряжения. Ограничение мощности СГРМ приводит к изменению полученной характеристики регулирования (см. рис. 4).

Указанные результаты позволяют провести имитационное моделирование работы регулируемых устройств поперечной компенсации для определения напряжения и характеристики регулирования, например, как это показано для рассматриваемого участка железной дороги в [9], с последующей верификацией на основе экспериментальных данных.

Таким образом, результаты измерений позволяют оценить эффект от повышения напряжения при компенсации реактивной составляющей, который для рассмотренной межподстанционной зоны равен около 600 В/1000 А. Номинальный ток устройства компенсации реактивной мощности СГРМ на посту секционирования обеспечивает полную компенсацию реактивной составляющей тока тяговой нагрузки для диапазона тяговой нагрузки, интегральная плотность вероятности которой не превышает 50 %. В остальных случаях компенсация реактивной мощности является частичной.

Перспектива проведения дальнейших исследований связана с определением реализуемой СГРМ и СТК зависимости регулирования тока устройства в зависимости от уровня напряжения, проведения имитационного моделирования, анализа полученных характеристик и определение степени корректирующего воздействия на рабочие характеристики в зависимости от уровня напряжения холостого хода на смежных тяговых подстанциях для последующего внедрения полученных результатов в проект цифровой тяговой подстанции [10] и системы тягового электроснабжения.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 109-03-2022-006 по теме «Разработка принципов построения энергоэффективных систем тягового электроснабжения с применением цифровых производственных технологий проектирования».

Библиографический список

1. Литовченко, В. В. Эффективность внедрения бортовых компенсаторов реактивной мощности на электроподвижном составе переменного тока / В. В. Литовченко, Д. А. Донской, Д. В. Назаров // Электротехника. – 2015. – № 9. – С. 36–41. – EDN UGJOPP. – Текст : непосредственный.

2. Герман, Л. А. Снижение потерь электроэнергии при помощи установок компенсации реактивной мощности на посту секционирования тяговой сети переменного тока / Л. А. Герман, А. С. Серебряков // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2019. – Том 78. – № 5. – С. 297–302. – DOI 10.21780/2223-9731-2019-78-5-302. – EDN YHRFAM. – Текст : непосредственный.

3. Герман, Л. А. Особенности компенсации реактивной мощности в системе тягового электроснабжения железных дорог / Л. А. Герман, Б. М. Бородулин // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2010. – № 3. – С. 50–52. – EDN MQIABH. – Текст : непосредственный.

4. Расчет параметров устройств продольной компенсации реактивной мощности в тяговой сети переменного тока / Ю. В. Кондратьев, А. В. Тарасенко, А. А. Комяков, В. Л. Незевак // Омский научный вестник. – 2015. – № 3(143). – С. 237–239. – EDN VCNUPN. – Текст : непосредственный.

5. Компьютерное моделирование емкостной компенсации реактивной мощности в тяговой сети / Т. С. Титова, И. А. Терехин, А. А. Володин, И. А. Баранов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2021. – № 2. – С. 23–27. – EDN NMOOXX. – Текст : непосредственный.

6. Крюков, А. В. Несинусоидальные режимы в системах тягового электроснабжения, оснащенных устройствами компенсации реактивной мощности / А. В. Крюков, В. П. Закарюкин, А. П. Куцый // Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации. – 2018. – № 5. – С. 11–18. – EDN YUOJFZ. – Текст : непосредственный.

7. Марикин, А. Н. Адаптивное устройство поперечной компенсации реактивной мощности в тяговом электроснабжении переменного тока / А. Н. Марикин, В. А. Мирощенко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 1(38). – С. 16–21. – EDN RZDRDT. – Текст : непосредственный.

8. Кузьмин, С. В. Алгоритм управления статическим компенсатором тяговых подстанций переменного тока в целях симметрирования нагрузки питающей линии и компенсации реактивной мощности / С. В. Кузьмин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2012. – № 4(33). – С. 105–111. – EDN RAIWSJ. – Текст : непосредственный.

9. Незевак, В. Л. О сравнении энергетических параметров систем накопления электроэнергии для систем тягового электроснабжения постоянного и переменного тока / В. Л. Незевак // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2022. – Том 81. – № 1. – С. 38–52. – DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-1-38-52. – EDN CODORC. – Текст : непосредственный.

10. Кондратьев, Ю. В. Концепция развития цифровой тяговой подстанции / Ю. В. Кондратьев, В. Л. Незевак, В. В. Эрбес // Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта : материалы третьей международной научно-практической конференции, Омск, 06 декабря 2018 года. – Омск : Омский государственный университет путей сообщения, 2018. – С. 13–20. – EDN YYCNOP. – Текст : непосредственный.

***Е.Ю. Пузина*[1,2]**
[1]Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия
[2] Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
г. Иркутск, Россия

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДПИТЫВАЮЩЕЙ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Для обеспечения требуемого возрастающего грузопотока к 2025 году требуется проверка пропускной способности системы тягового электроснабжения действующих участков электрифицированных железных дорог. Как правило, на участках с горно-перевальным профилем обнаруживаются лимитирующие перегоны, которые существенно ограничивают пропускную способность.

В данной работе выполнена проверка пропускной способности системы тягового электроснабжения участка Новый Уоян – Кюхельбекерская Восточно-Сибирской железной дороги с учетом перспективных размеров движения на 2025 год. Проверка подтвердила наличие лимитирующего участка.

С целью усиления системы тягового электроснабжения исследуемого участка проверена эффективность использования ряда традиционных средств усиления системы тягового электроснабжения, вплоть до строительства дополнительной тяговой подстанции. Именно последний способ усиления показал наибольшую эффективность и рекомендован к внедрению.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, контактная сеть, способы усиления, подпитывающая тяговая подстанция.

В соответствии с целевыми показателями пропускной способности железных дорог Восточного полигона необходимо обеспечить объем грузоперевозок до 180 млн тонн к 2024 году и до 210 млн тонн к 2025 году [1-2]. Модернизация БАМа и Транссиба – один из крупнейших инфраструктурных проектов в РФ [3-5]. За счет модернизации БАМа и Транссиба должно произойти увеличение провозной способности до 260–280 млн тонн к 2030 году. С начала модернизации Восточного полигона на БАМе появились свыше 400 километров новых двухпутных участков, а в 2024 году их протяженность увеличится более чем на 1,5 тысячи километров.

На электрифицированных железных дорогах необходимость усиления системы тягового электроснабжения (СТЭ) связана с ростом грузооборота, включением в график движения значительного количества тяжеловесных поездов, особенно, в последнее время сдвоенных тяжеловесных поездов [5–10]. Вследствие этого параметры режима работы СТЭ достигают значений, отличных от допустимых [11–14].

В данной работе приведены результаты исследования пропускной способности участка Новый Уоян – Кюхельбекерская Восточно-Сибирской железной дороги. При этом учтены размеры движения на ближайшую перспективу – 2023 год, и на 2025 год, отраженные в табл. 1.

Таблица 1

Планируемые размеры движения поездов

Участок	Массы поездов, т	Количество поездов в сутки			
		2023 год		2025 год	
		Четное	Нечетное	Четное	Нечетное
Ангаракан-Северобайкальск	7100	-	20		47
	6000	4	0,5	5,5	5
	4000	4	8,5	4	10
	3000	4	4	3,5	3,5
	1500-1700	21		54	1,5
	Итого	33	33	67	67

Расчет наличной суточной пропускной способности выполнен с помощью ПВК Кортэс, и его результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчёт наличной суточной пропускной способности

Основные характеристики	Расчетное значение	Допустимое значение
Ограничивающий коэффициент нагрузки ЭЧЭ (Янчукан)	2,31	2,0
Температура трансформатора ЭЧЭ ˚С (Янчукан)	101	95˚С
Ограничивающий коэффициент нагрузки АТП (1243 км, 1-й путь)	0,50	1,5
Температура автотрансформатора ˚С (1243 км, 1-й путь)	65	95˚С
Напряжение в КС, кВ: минимальное (1-й путь зоны Новый Уоян – Ячнукан)	17,93	21 кВ

Из полученных результатов (табл. 2) видно, что такие характеристики, как ограничивающий коэффициент нагрузки ЭЧЭ Янчукан, который составляет 2,31, превышает допустимое значение, температура масла трансформатора 101˚С превышает допустимое 95˚С, минимальное напряжение в контактной сети 17,93 кВ – существенно ниже минимально допустимого. Из этого можно сделать вывод, что для исследуемого участка требуется усиление системы тягового электроснабжения.

Увеличение напряжения в контактной сети и уменьшение значения тока в питающей линии и контактной сети возможно благодаря применению нескольких вариантов усиления [8–12]: подвес усиливающего провода, увеличение мощности силовых трансформаторов, монтаж устройств продольной и поперечной компенсации. Попытка применения перечисленных средств усиления на исследуемом участке не дала решающего результата по нормализации параметров нормального режима работы системы тягового электроснабжения участка с учетом перспективных размеров движения на 2025 г. Поэтому принято решение рассмотреть эффективность строительства дополнительной подпитывающей тяговой подстанции на разъезде Янчуй участка Новый Уоян – Кюхельбекерская. С этой целью В ПВК Кортэс, а именно в параметрах участка, установлена тяговая подстанция на 1278 км, и также приведены ее основные параметры (рис. 1).

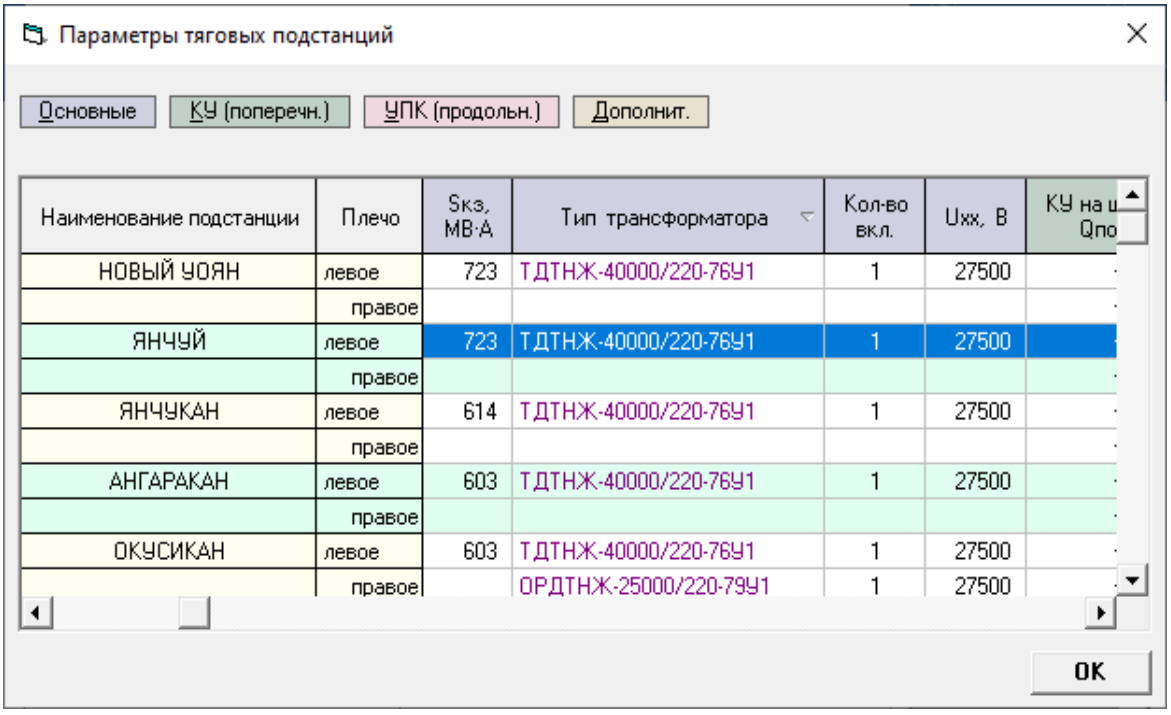


Рис. 1. Основные параметры ТП

В табл. 3 представлены основные параметры режима работы СТЭ участка с учетом строительства тяговой подстанции Янчуй.

Видим, что данный способ, а именно строительство дополнительной тяговой подстанции, показал, что все основные характеристики рабочего режима участка Новый Уоян – Янчукан находятся в допустимых пределах, ограничивающий коэффициент не превышает допустимого, температура трансформатора не превышает допустимого значения, напряжение в контактной сети увеличилось до требуемого значения. Можно сделать вывод, что строительство ТП на 1278 км показало наибольший эффект в сравнении с другими рассмотренными вариантами усиления.

Таблица 3

Основные характеристики строительства тяговой подстанции

Основные характеристики	Расчетное значение	Допустимые значения
Ограничивающий коэффициент нагрузки ЭЧЭ (Янчукан)	1,85	2,0
Температура трансформатора ˚С (Янчукан)	87	95˚С
Ограничивающий коэффициент нагрузки АТП (1243 км, 1-й путь)	0,29	1,5
Температура автотрансформатора ˚С (1243 км, 1-й путь)	65	95˚С
Напряжения в КС, кВ: минимальное (1-й путь зоны Новый Уоян – Ячнукан)	21,33	21 кВ

Электроснабжение тяговой подстанции Янчуй предлагается организовать одной отпайкой от существующей линии ВЛ 220 кВ Новый Уоян – Ангаракан. Тяговая подстанция при этом будет является подпитывающей, ее подключение к тяговой сети на межподстанционной зоне Новый Уоян – Янчукан будет выполнено без сооружения нейтральной вставки. Проектируемая площадка тяговой подстанции может быть расположена в 55 м от пассажирского здания станции Янчуй на ПК 1276,5+90.70 (главная разметочная ось) и в 45,73 м от I главного пути справа по ходу километров. Схема расположения потенциального участка работ приведена на рис. 2.

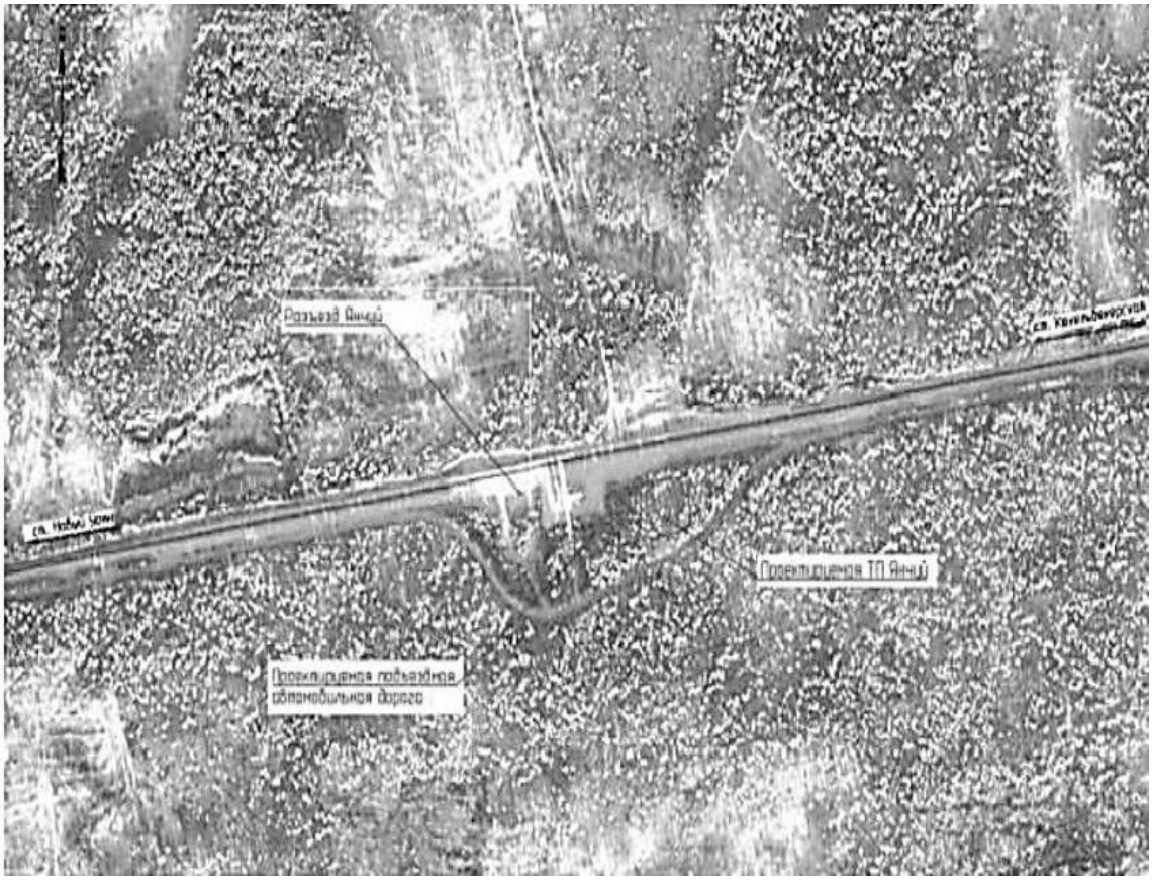


Рис. 2. Предлагаемое месторасположение подстанции Янчуй

Предлагаемая тяговая подстанция переменного тока должна содержать четыре распределительных устройства, напряжением 220 кВ; 2х27,5 кВ; 27,5 кВ и 10 кВ. Для питания тяги переменного тока предусматриваются распределительные устройства 27,5 кВ и 2×25 кВ, схема РУ которых представляет собой не секционированную систему главных и запасных шин с подключением фидеров контактной сети и запасного выключателя. Схема ЗРУ 10 кВ представляет собой не секционированную систему шин с питанием от силового трансформатора. Тяговая подстанция предлагается без постоянного дежурства.

Таким образом, в данной работе выполнен анализ эффективности применения средств усиления СТЭ с целью увеличения в перспективе пропускной способности на участке Новый Уоян – Янчукан. С помощью ПВК Кортэс проведен расчет наличной суточной пропускной способности, который показал проблемы на участке, а именно снижение напряжение в контактной сети. В ходе исследования проанализированы несколько способов усиления, такие как установка КУ и УПК, усиле-

ние КС, включение двух силовых трансформаторов в параллельную работу, комбинирование УПК и КУ, строительство тяговой подстанции. Оптимальным вариантом оказался вариант строительства тяговой подстанции, так как результаты расчета показали, что этот вариант усиления действительно нормализует показатели режима работы СТЭ исследуемого участка.

Расчет экономической эффективности строительства дополнительной подпитывающей тяговой подстанции Янчуй подтвердил ее эффективность для СТЭ, поскольку расчетный срок окупаемости за счет увеличения грузооборота не превысит 1,73 года.

Таким образом, разработанные предложения по строительству подпитывающей тяговой подстанции Янчуй позволят повысить технико-экономические показатели работы исследуемого участка в рамках не только всей дистанции дистанции электроснабжения, но Восточно-Сибирской железной дороги в целом.

Библиографический список

1. Рябов, Е. А. Перспективы развития высокоскоростного движения на Восточно-Сибирской железной дороге. Преимущества и недостатки / Е. А. Рябов, А. М. Потехина, М. К. Тихонова, С. М. Куценко // Молодая наука Сибири. – 2019. – № 2 (4). – С. 25–36. – Текст : непосредственный.

2. Puzina, E. Yu. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices / E. Yu. Puzina, M. Yu. Cherniga, I. A. Khudonogov // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. (2020). – С. 9271385. – Текст : непосредственный.

3. Пузина, Е. Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Чуро–Таксимо ВСЖД / Е. Ю. Пузина // Транспорт: наука, образование, производство : труды международной научно-практической конференции. – Ростовский государственный университет путей сообщения. – 2016. – С. 306–310. – Текст : непосредственный.

4. Khudonogov, A. M. Reliability Analysis of Power Equipment of Traction Rolling Stock Within the Eastern Region / A. M. Khudonogov, I. A. Khudonogov, E. Y. Dulskiy, P. V. Ivanov, I. O. Lobytsin, A. A. Khamnaeva // IOP Conference Series : materials Science and Engineering International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, Sib Trans 2019. – 2020. – С. 012018. – Текст : непосредственный.

5. Востриков, М. В. Прогнозирование динамики пусковых и переходных токов с целью повышения селективности микропроцессорных устройств релейной защиты фидеров контактной сети / М. В. Востриков,

К. В. Менакер, А. В. Пультяков // Транспорт Урала. – 2021. – № 1 (68). – С. 86–92. – Текст : непосредственный.

6. Grigoriev, N. P. Reduction of electrical ehergy losses of power transformer of 25 kV traction substations / N. P. Grigoriev, M. S. Klykov, V. A. Tikhomirov, P. N. Trofimovich // IOP Conferens Series : materials Science and Engineering. – 2020. – № 760. – С. 012060. – Текст : непосредственный.

7. Cherepanov, A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation / A. Cherepanov, A. Kutsiy // International Russion Automation Conference, RusAutoCon2018. – С. 8501734. – Текст : непосредственный.

8. Шевердин, И. Н. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛСН / И. Н. Шевердин, В. И. Шаманов, Ю. А. Трофимов, А. В. Пультяков // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – № 10. – С. 16–19. – Текст : непосредственный.

9. Востриков, М. В. Повышение надежности перевозочного процесса за счет внедрения устройства адаптивной дистанционной защиты резервных ступеней фидеров контактной сети / М. В. Востриков, С. А. Филиппов, Д. А. Яковлев // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Том 1. – С. 745–748. – Текст : непосредственный.

10. Potapov, V. V. Theoretical Bases of Electrical Engineering / V. V. Potapov, K. V. Suslov, K. V. Kostina. – Irkutsk : Irkutsk National Research Technical University. – 2020. – 158 p. – Текст : непосредственный.

11. Puzina, E. Y. The study of the effectiveness of strengthening the traction power supply system of the Northern route of the Eastern polygon of the Russian railroads / E. Y. Puzina, I. A. Khudonogov // Journal of Physics : Conference Series. – Сер. “International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021” 2021. – С. 012153. – Текст : непосредственный.

12. Худоногов, И. А. Восстановление изоляционных свойств обмоток якоря тягового электродвигателя / И. А. Худоногов, В. Н. Иванов, Ш. К. Исмаилов, В. П. Смирнов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2006. – № 4-1 (28). – С. 60–62. – Текст : непосредственный.

13. Брылев, В. А. Усиление систем внешнего и тягового электроснабжения на участке Тайшет–Тулун с учетом перспективных объемов перевозки грузов / В. А. Брылев, Е. Ю. Пузина // Молодая наука Сибири. – 2020. – № 2 (8). – С. 162–170. – Текст : непосредственный.

14. Ступицкий, В. П. Повышение достоверности диагностирования состояния несущего троса контактной сети / В. П. Ступицкий, И. А. Худоногов, В. А. Тихомиров, О. В. Лобанов // Современные технологии.

Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 1 (65). – С. 136–143. – Текст : непосредственный.

А.В. Пультяков[1], Р.В. Лихота[2], В.А. Алексеенко[1]
[1] Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия
[2] Восточно-Сибирская дирекция инфраструктуры, г. Иркутск, Россия

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА ВОСТОЧНОМ ПОЛИГОНЕ

В статье рассматриваются вопросы организации технической диагностики и мониторинга состояния устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на железных дорогах Восточного полигона ОАО «РЖД». Дана краткая характеристика Восточного полигона, приведены организационные структуры центров технической диагностики и мониторинга четырёх железных дорог в границах Восточного полигона и показаны особенности их функционирования. Сформулированы цель и задачи работы центров, проанализированы основные показатели, характеризующие эффективность работы центров технической диагностики и мониторинга устройств.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика, техническая диагностика, мониторинг, инцидент, восточный полигон.

Восточный полигон ОАО «РЖД» является одним из ключевых элементов, как в развитии транспортной системы страны, так и международных транспортных коридоров. От его надежного функционирования, от обеспечения заданных пропускной и провозной способностей зависит эффективность работы экономики страны [1, 2, 3].

Восточный полигон имеет суммарную эксплуатационную длину железных дорог более 17 тыс. км и включает в себя четыре дороги – Красноярскую, Восточно-Сибирскую, Забайкальскую и Дальневосточную. В границах полигона расположено 1042 железнодорожных станции и 1087 перегонов. Одними из основных устройств, непосредственно влияющих на обеспечение безопасности и бесперебойности движения поездов, являются устройства железнодорожной автоматики и телеме-

ханики (ЖАТ), работоспособное состояние которых требуется поддерживать непрерывно [4, 5].

Для обеспечения требуемого уровня надёжности работы устройств ЖАТ на станциях и перегонах Восточного полигона организована техническая диагностика и мониторинг их состояния, которая осуществляется такими системами технической диагностики и мониторинга, как АПК-ДК «КИТ», АПК-ДК «ИМСАТ», АДК СЦБ, СТДС АПС и др. [6, 7, 8].

Центры технической диагностики и мониторинга (ЦТДМ) устройств ЖАТ предназначены для реализации концепции системы технической диагностики и мониторинга заключающейся в повышении надежности работы устройств, непосредственно обеспечивающих безопасность и бесперебойность перевозочного процесса, за счет оперативного контроля их технического состояния [9].

Внедрение технических решений, устройств и систем, обеспечивающих удалённый контроль, техническую диагностику и мониторинг состояния устройств ЖАТ позволяет значительно сократить число отказов технических средств за счёт выявления предотказных состояний и оперативного устранения выявленных отклонений от норм содержания устройств, тем самым избегая задержки и сбои в графике движения поездов [10–14].

Основной задачей ЦТДМ является обеспечение постоянной готовности устройств железнодорожной автоматики и телемеханики к беспрепятственному осуществлению процесса перевозки грузов и пассажиров путем мониторинга технического состояния средств ЖАТ, выявления и организации устранения предотказных состояний и отказов технических средств ЖАТ в сроки, соответствующие уровню их тревожности, определённые нормативными документами ОАО «РЖД». Как показывает опыт работы таких центров, поставленная задача выполняется на достаточно высоком уровне [15–18].

На железных дорогах Восточного полигона организация работы ЦТДМ зависит как от количества объектов контроля на дороге, так и от количества работников, выполняющих соответствующие задачи по работе с инцидентами, то есть событиями, которые потенциально могут явиться причиной отказов технических средств. На рис. 1 представлены организационные структуры Центров технической диагностики и мониторинга устройств ЖАТ, созданных на железных дорогах Восточного полигона.

Контроль состояния и отдельных параметров устройств ЖАТ, на основании непрерывного мониторинга средствами ТДМ, принятие мер при выявлении предотказных состояний, отклонений от норм содержа-

ния, возлагается на инженера по мониторингу дистанции СЦБ или Центра ТДМ.

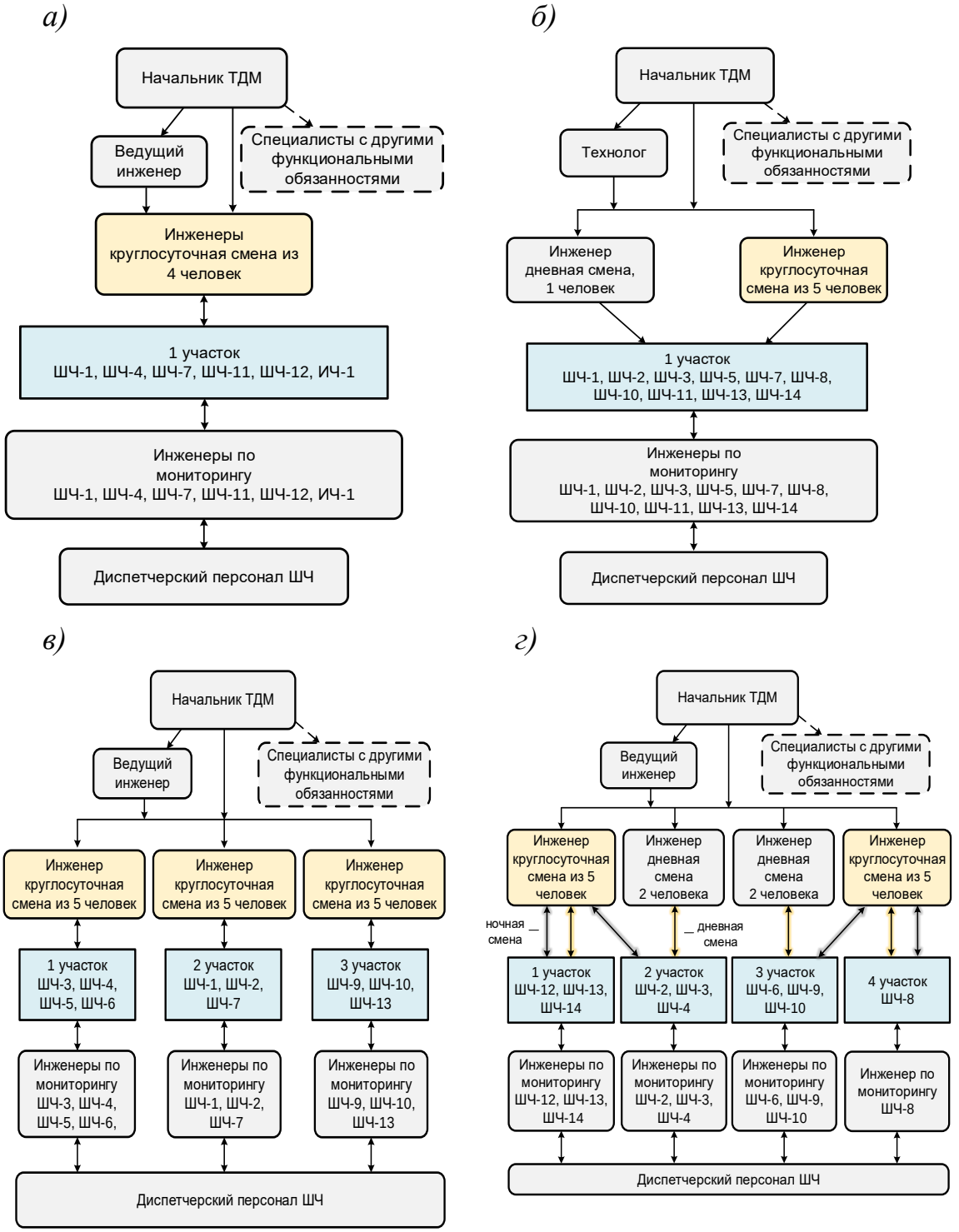


Рис. 1. Организационная структура ЦТДМ Восточного полигона: а) Восточно-Сибирская железная дорога; б) Забайкальская железная дорога; в) Красноярская железная дорога; г) Дальневосточная железная дорога

На Красноярской железной дороге в штат ЦТДМ входят начальник центра, ведущий инженер и одна круглосуточная смена из 4 человек. Штат ЦТДМ Восточно-Сибирской железной дороги непосредственно задействованный в выявлении предотказных состояний и обработке диагностических ситуаций включает в себя начальника центра, технолога, одного инженера и одну круглосуточную смену из 5 инженеров. На Забайкальской железной дороге в штат ЦТДМ входят начальник центра, ведущий инженер и 3 круглосуточные смены по 5 человек в каждой, так как функционально дорога разделена на 3 участка. На Дальневосточной дороге в штат ЦТДМ входят начальник центра, ведущий инженер, две круглосуточные смены по 5 человек в каждой и две дневные смены по 2 человека.

Под инцидентом понимается информационное сообщение (событие) или группа диагностических ситуаций, объединенных по заданному правилу, являющихся следствием нарушения или способных потенциально привести к нарушению работоспособности устройств ЖАТ, требующее расследования, устранения или контроля со стороны инженеров по мониторингу.

Проведенный анализ работы Центров технической диагностики и мониторинга железных дорог Восточного полигона за 2021 год и январь 2022 года показал достаточно высокую эффективность их работы, однако есть ещё очень много не решённых как организационных, так и технических вопросов связанных с обеспечением качества их работы.

На рис. 2 для примера представлены показатели неисправностей, выявленных центрами ТДМ на Восточном полигоне за один месяц в сравнении 2021 и 2022 годов и их распределение по ответственности хозяйств. Так на Красноярской и Дальневосточной железных дорогах наибольшее количество неисправностей относится к хозяйству Ш, на Забайкальской дороге к Ш и Э, а на Восточно-Сибирской к П, тем не менее хозяйство Ш не на много отстает по количеству отказов.

Современные системы мониторинга позволяют выявлять даже кратковременные случаи ложной свободности, которые классифицируются как неисправность. На рис. 3 представлена гистограмма с количеством выявленных неисправностей высокой критичности и с долей не выявленных системой ТДМ отказов технических средств на рассматриваемых железных дорогах.

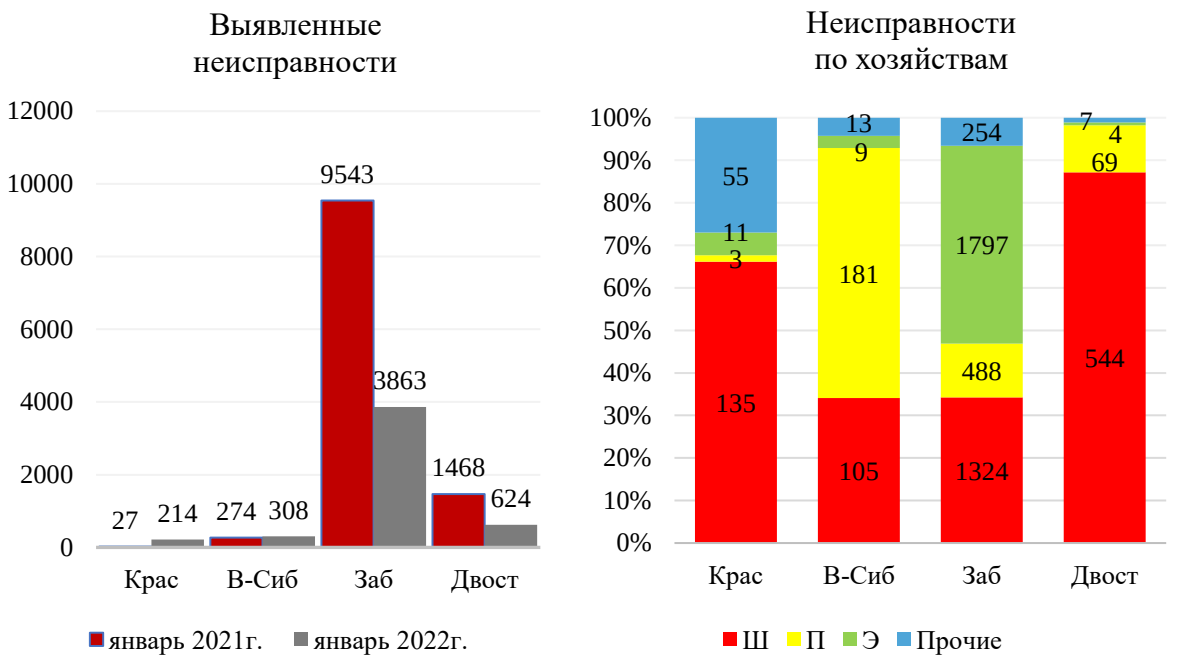


Рис. 2. Показатели неисправностей, выделенных центрами ТДМ на Восточном полигоне

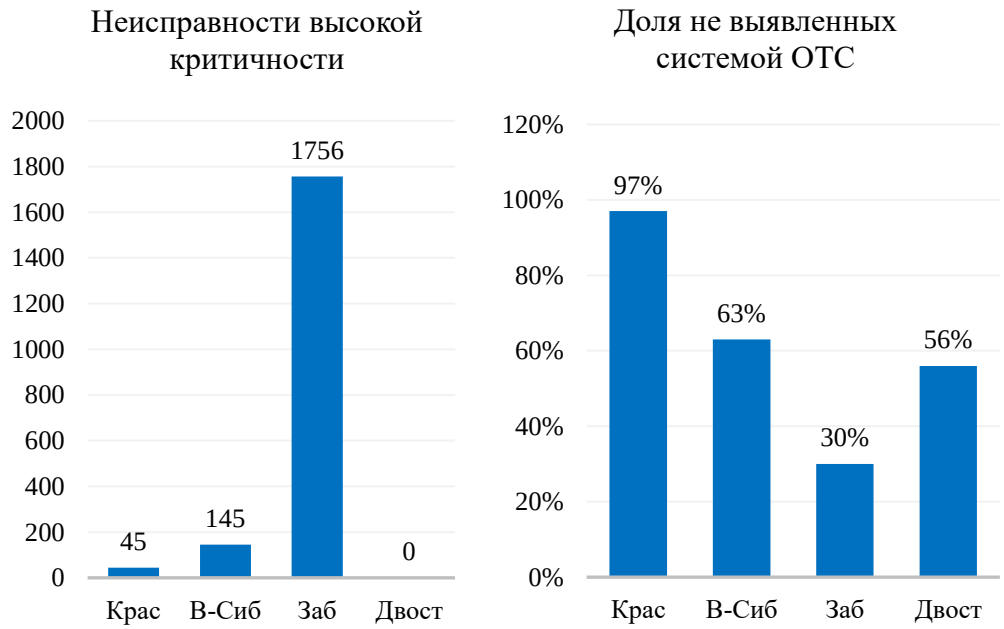


Рис. 3. Показатели неисправности высокой критичности и влияния СТДМ на отказы технических средств

Из количества отказов по вине хозяйства автоматики и телемеханики на Восточном полигоне в январе 2022 года, 43,6% отказов произошли на участках с низким уровнем диагностики. На участках с высоким уровнем диагностики произошло только 14,5% отказов. Но даже на контролируемых участках, существующие системы ТДМ не всегда способны выявить даже факт самого отказа. Наихудшими показателями в данном вопросе обладает Красноярская железная дорога с системой АДК-СЦБ, на которой не выявлено 97% отказов. На Восточно-Сибирской дороге доля не выявленных отказов составила 63%.

Достаточно большое количество инцидентов являются следствием выполнения работ по техническому обслуживанию, то есть инциденты формируются в результате проведения регламентных работ с пометкой «ТОиР». Количество таких инцидентов составляет значительный объем и требует соразмерных трудозатрат технологов и инженеров по мониторингу на их обработку. Учитывать такие инциденты необходимо, так как на их основе реализована система контроля технического обслуживания. По всем дорогам Восточного полигона в центрах реализован контроль за проводимым техническим обслуживанием устройств и за проводимыми выключениями устройств ЖАТ.

Вариантом сокращения трудозатрат на обработку инцидентов типа ТОиР является автоматизация процесса классификации. На Восточно-Сибирской и Забайкальской дорогах присутствует автоматическая классификация инцидентов системой, а на Красноярской и Дальневосточной дрогах вообще нет инцидентов, автоматически классифицированных системой.

Одним из распространенных рисков пропуска диагностических ситуаций в ЦТДМ являются незаконченные инциденты. Основными типами инцидентов, в которых технически допускается длительное оставление незаконченного статуса – это «недостатки диагностики» и «неисправности». В части недостатков диагностики наибольшие риски зафиксированы на Дальневосточной дороге. В части неисправностей – на Забайкальской дороге. На Восточно-Сибирской дороге недостатки диагностики с незаконченным статусом составляют всего 8,3% в этом критерии среди Восточного полигона, а неисправностей с незаконченным статусом 2%.

На дорогах реализована увязка с ЕКАСУИ. Данная увязка позволяет в автоматизированном режиме сопровождать процесс организации устранения неисправностей. В конечной фазе после закрытия рабочего задания в ЕКАСУИ эксплуатационным штатом требуется подтверждение устранения инцидента в ЦТДМ. В части своевременной реакции на

инциденты выделяется Дальневосточная дорога, которая имеет наибольшее количество несвоевременно обработанных инцидентов.

Количество инцидентов в пересчете на контролируемые стрелки приведена на гистограмме на рис. 4. На разных дорогах значение этого показателя отличается, что связано с разным уровнем развития и налаженности работы программного обеспечения системы ТДМ. Наибольшее значение данного показателя зафиксировано на Забайкальской и Дальневосточной дорогах. При этом по Забайкальской дороге этот показатель выше среднего. Высокий уровень данного показателя не позволяет работать ЦТДМ эффективно, так как влечет за собой неоправданные трудозатраты.

Удельный показатель по среднему количеству диагностических ситуаций в инциденте также представлен на рис. 4 на второй гистограмме. Данный показатель является косвенным маркером своевременности и качества обработки инцидентов.

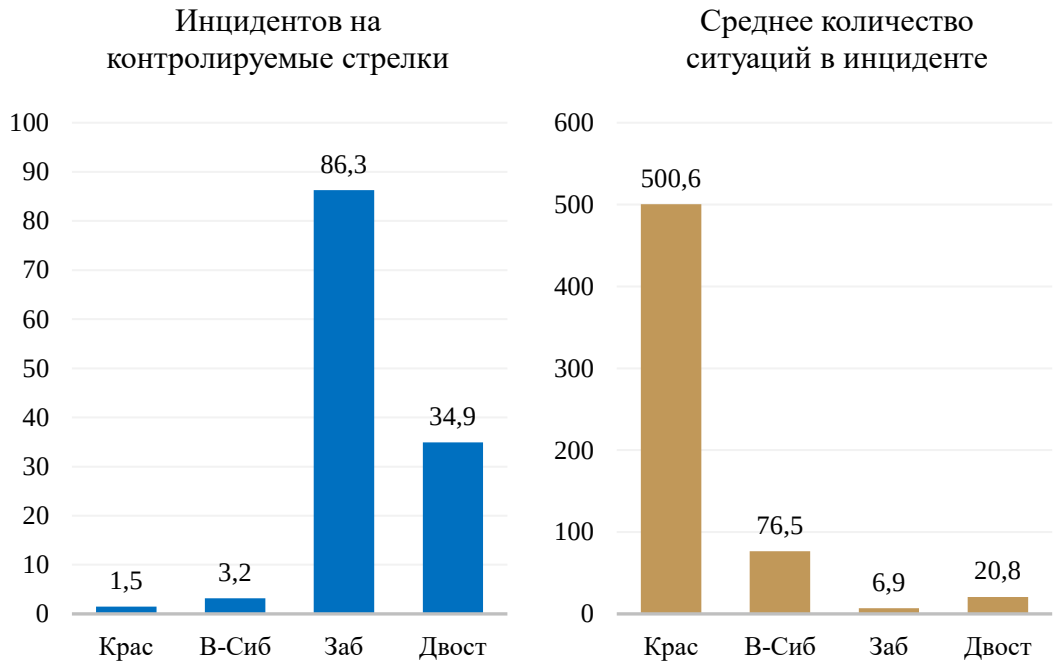


Рис. 4. Показатели оценки рисков в работе ЦТДМ

Например, высокие значения данного показателя на Красноярской дороге можно объяснить отсутствием круглосуточного мониторинга.

Дальнейшее повышение уровня надёжности работы устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики возможно за счет

учёта выработанного ими ресурса и перехода от регламентного технического обслуживания к обслуживанию устройств ЖАТ по состоянию.

Библиографический список

1. Самуйлов, В. М. Транспортная стратегия развития Восточного полигона / В. М. Самуйлов, В. Б. Солохов // Инновационный транспорт. – 2021. – № 1(39). – С. 16–19. – Текст : непосредственный.

2. Пехтерев, Ф. С. Перспективы развития железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона сети ОАО «РЖД» / Ф. С. Пехтерев // Экономика железных дорог. – 2015. – № 2. – С. 60–65. – Текст : непосредственный.

3. Булохова, Т. А. Пути повышения прибыльности транзитных перевозок на Восточном полигоне Транссибирской магистрали / Т. А. Булохова, Н. Н. Григорьева, В. А. Олинцевич // Baikal Research Journal. – 2021. – Том 12. – № 2. – URL : http://brjbguep.ru/reader/article.aspx?id=24542, свободный (дата обращения: 17.10.2022). – Текст : электронный.

4. Правила технической эксплуатации железных дорог Российский Федерации [утверждены приказом Минтранса России № 286 от 21.12.2010 г. (с изм. на 25.12.2015 г.)]. – Москва : ОАО «РЖД», 2015. – 368 с. – Текст : непосредственный.

5. Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : в 2 частях / А. В. Горелик, Д. В. Шалягин, Ю. Г. Боровков, В. Е. Митрохин [и др.] ; под редакцией А. В. Горелика. – Москва : ФГБОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 477 с. – Текст : непосредственный.

6. Ефанов, Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография / Д. В. Ефанов. – Санкт-Петербург : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с. – Текст : непосредственный.

7. Сапожников, В. В. Основы технической диагностики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – Москва : Маршрут, 2004. – 316 с. – Текст : непосредственный.

8. Средства технической диагностики и удаленного мониторинга СТД-МПК / А. Б. Никитин, С. В. Бушуев, К. В. Гундырев [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 10. – С. 6–8. – Текст : непосредственный.

9. Стратегия управления инцидентами в хозяйстве автоматики и телемеханики [утверждена распоряжением ЦДИ – филиала ОАО «РЖД» № ЦДИ-3778 от 12.09.2022 г.]. – Москва : ОАО «РЖД» – 2022. – 27 с. – Текст : непосредственный.

10. Шаманов, В. И. Совершенствование системы технического обслуживания устройств автоматики / В. И. Шаманов, А. В. Пультяков // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 12. – С. 13–15. – Текст : непосредственный.

11. Пультяков, А. В. Управление инцидентами в системе технической эксплуатации микропроцессорных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Пультяков, В. А. Алексеенко, Р. В. Лихота // Транспорт Урала. – 2020. – № 1(64). – С. 43–47. – Текст : непосредственный.

12. Пультяков, А. В. Организация передачи и вывода данных удаленного контроля параметров устройств СЦБ / А. В. Пультяков, Ю. А. Сивакова // Молодая наука Сибири : электронный научный журнал. – 2020. – № 3(9). – URL : http://mnv.irgups.ru/toma/39-20, свободный (дата обращения: 17.10.2022). – Текст : электронный.

13. Пультяков, А. В. Удалённый контроль напряжения электропитания на сигнальных установках автоблокировки / А. В. Пультяков, А. В. Шейкин, С. М. Медведев / Молодая наука Сибири : электронный научный журнал. – 2019. – № 1(3). – URL : http://mnv.irgups.ru/toma/13-2019, свободный (дата обращения: 17.10.2022). – Текст : электронный.

14. Пультяков, А. В. О применении промышленных микроконтроллеров для контроля напряжения в устройствах СЦБ посредством мобильного интернета / А. В. Пультяков, А. В. Шейкин, Ю. А. Сивакова // Образование – наука – производство : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – Чита : ЗабИЖТ ИрГУПС, 2020. – С. 183–189. – Текст : непосредственный.

15. Лукоянов, Д. С. Роль ЦДМ в оптимизации технического обслуживания и ремонта устройств ЖАТ / Д. С. Лукоянов // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 1. – С. 10–14. – Текст : непосредственный.

16. Шамов, И. С. Средства диагностики – инструмент для снижения отказов / И. С. Шамов // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 1. – С. 14–15. – Текст : непосредственный.

17. Панов, А. А. Потенциал развития систем мониторинга / А. А. Панов // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 1. – С. 18–20. – Текст : непосредственный.

18. Шевцов, О. П. Система ТДМ дает заметный результат / О. П. Шевцов, А. С. Карнаухов, В. А. Антипкин // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 1. – С. 21–23. – Текст : непосредственный.

О.А. Соловьёва, А.В. Рогалёв, В.И. Окладникова
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATLAB – SIMULINK

В статье рассмотрено и проанализировано моделирование в программном комплексе Matlab – Simulink применительно к прикладным задачам релейной защиты.

Ключевые слова: релейная защита, программа, моделирование, matlab, simulink.

За последние несколько лет количество грузовых поездов повышенной массы, а также сдвоенных поездов на полигоне Забайкальской железной дороге существенно возросло, поскольку увеличилась роль международных торговых отношений Российской Федерации и Китая, в том числе потребность в высоком уровне грузо- и товарооборота. В результате чего на подстанциях Забайкальской железной дороги обнаруживается большое количество ложных и неселективных срабатываний дистанционной защиты фидеров контактной сети. Что на сегодняшний день является актуальной проблемой. Для её решения необходимо выявить причины неселективных отключений, усовершенствовать релейную защиту в плане ее показателей работы: селективность, надежность, и чувствительность.

Одним из перспективных способов, позволяющим учесть особенности режимов работы системы тягового электроснабжения и одновременно исследовать различные алгоритмы работы дистанционной защиты, является математическое и имитационное моделирование, которое может быть выполнено с помощью программ КОРТЕС, Matlab – Simulink, а также Fazonord.

Моделирование – это метод исследования свойств и параметров реального объекта или явления с помощью модели. Модель должна обладать адекватностью, то есть по своим параметрам должна соответствовать реальному объекту.

Моделирование используется тогда, когда исследование самого объекта вызывает большие трудозатраты, которые сложно реализовать в реальных обстоятельствах.

Рассмотрим преимущества и недостатки моделирования.

Преимущества:

а) наглядность работы и простота использования;

б) возможность предсказания результатов экспериментов;

в) возможность создавать и рассчитывать объекты, которые невозможны в реальных условиях;

г) не создавая пробных деталей, находить наилучшую форму и конструкцию объекта;

д) проведение экспериментов без риска для здоровья человека и окружающей среды;

е) получение в сжатые сроки результата от широкого диапазона воздействий интересующих характеристик;

Недостатки:

а) необходимость учета большого количества параметров для построения адекватной модели.

При выполнении моделирования в каждой среде следует произвести оценку ее качества с помощью таких свойств, как точность, достоверность, верная интерпретация полученных данных.

К имитационному моделированию предъявляются дополнительные требования, влияющие на достоверность полученной информации:

а) для имитации «искажения» в поведении модели производится моделирование с помощью случайных чисел;

б) работа модели должна происходить в динамическом режиме;

в) на одной модели проверяются и используются различные математические методы моделирования;

г) так как модель представляет собой систему, ее элементы должны быть взаимосвязаны между собой.

Также при оценке качества имитационной модели анализируются ее целевые свойства: адекватность, устойчивость, чувствительность.

Если хотя бы одно из целевых свойств модели не удовлетворяет необходимым критериям, производится калибровка модели.

Так как релейная защита относится к техническим системам, то и среда для ее моделирования должна быть соответствующей.

Рассмотрим программы, с помощью которых возможно моделирования систем тягового электроснабжения.

MatLab – язык программирования с пакетом прикладных программ и интегрированной средой для разработки, выполнения инженерных и математических расчетов, работы с матричными базами данных, визуализации.

При помощи инструментов пакета программ MatLab можно реализовать математическое, имитационное, структурное и физическое моделирование, что соответствует требованиям для моделирования технических систем, а в частности – моделирования работы релейной защиты.

Рассмотрим подпрограмму MatLab – Simulink (рис. 1).

В соответствии с [1] Simulink – среда моделирования для реализации блочного визуального моделирования устройств различного назначения, в том числе электрических устройств, – один из мощных инструментов математического пакета MatLab. Здесь пользователь имеет возможность создавать компьютерную модель системы, запускать, отлаживать, исследовать ее поведение.

Рис. 1. Эмблема MatLab Simulink

Для создания моделирования микросистем Simulink используются два основных компонента: браузер библиотеки, который имеет готовые блоки и редактор модели. Готовые блоки можно использовать для создания модели динамических систем: непрерывных, дискретных и гибридных, линейных, нелинейных, математических операций и др.

На рис. 2 представлен пример использования Simulink для моделирования электрической системы.

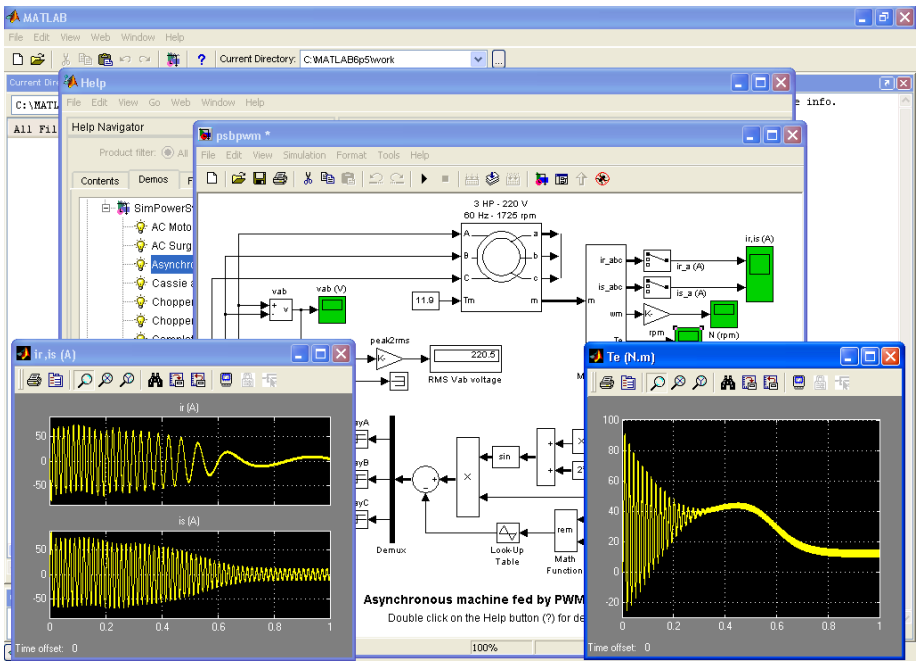


Рис. 2. Пример моделирования в программном комплексе MatLab Simulink

Моделирование в MatLab Simulink осуществляется следующим образом:

1) для принципиальной схемы составляется схема замещения;

2) для каждого элемента схемы замещения подбирается элемент-блок библиотеки в MatLab Simulink;

3) происходит расчет необходимых параметров для каждого элемента схемы замещения;

4) параметры вводятся в соответствующие строки ввода;

5) собирается схема в MatLab Simulink на основе схемы замещения;

6) при необходимости элементы программируются.

Еще одной программой для создания моделей СТЭ является КОРТЕС.

В программе имеется возможность задавать параметры СТЭ: профиль пути, подвеску контактной сети, питающие, усиливающие провода, оборудование тяговых подстанций и другое. Создается имитация пропуска поездов по заданному перегону с заданными скоростями, массами – с помощью задающих токов, это позволяет выполнять тяговые расчеты, подбирать оптимально необходимую подвеску, выявлять максимально возможную массу поезда, и многое другое. Несмотря на все плюсы КОРТЕСа, с его помощью выявить недостатки работы релейной защиты невозможно, так как оборудование имитируется в качестве «черного ящика», когда нам необходимы его составляющие.

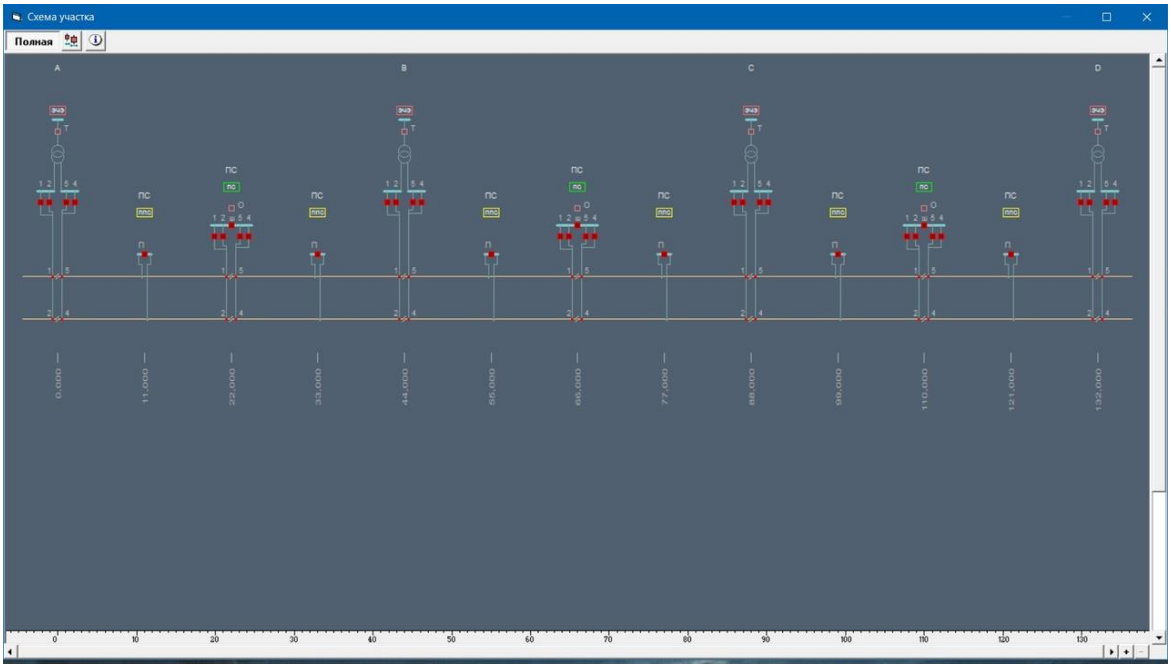


Рис. 3. Пример моделирования в программном комплексе КОРТЕС

Также существует аналогичная программа – Fazonord.

Fazonord – программа, работающая при помощи матричных операций, задавая координаты фазных систем. Матрица представляет собой систему уравнений, решая которую можно определить нужные параметры.

Fazonord обеспечивает выполнение операций, необходимых для составления имитационной модели СТЭ в соответствии с [2].

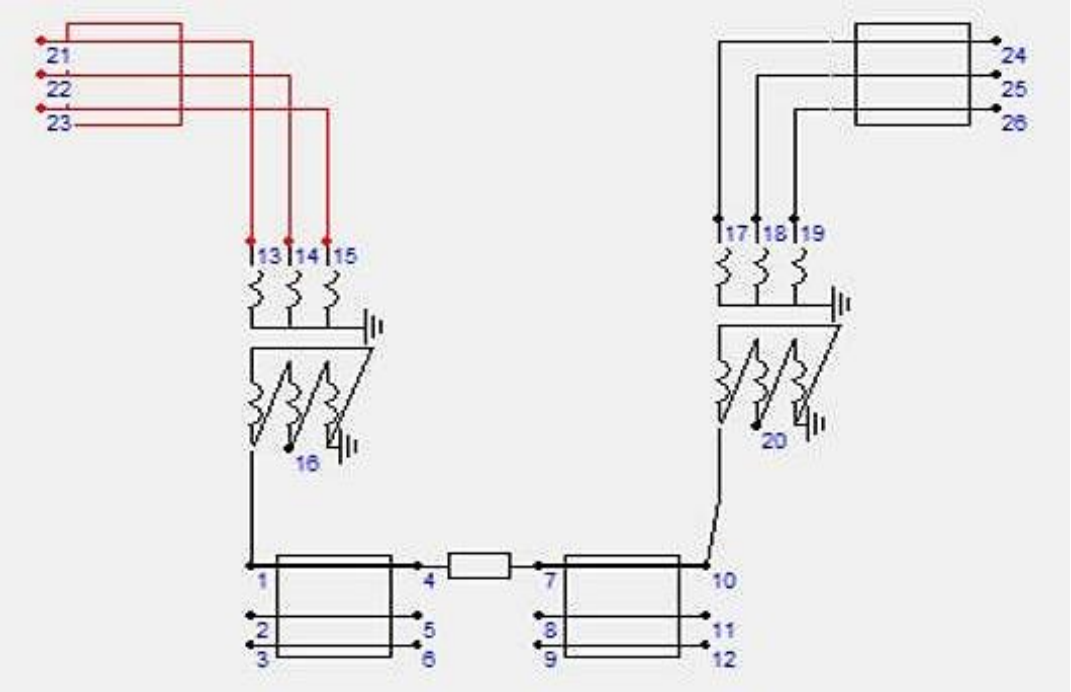


Рис. 4. Пример моделирования в программном комплексе Fazonord

MatLab как и Fazonord работает с помощью матричных операций,но имеет существенный плюс по отношению к Fazonord – лучшую визуализацию посредством представления матриц блоками, а значит MatLab прост и удобен в использовании.

Так как тяговое электроснабжение является системой, то есть состоит из большого количества взаимосвязанных элементов, то и модель СТЭ должна учитывать и воспроизводить все необходимые параметры каждого элемента и их действие друг на друга, в том числе влияние на релейную защиту, то есть соответствовать полному подобию.

Модель релейной защиты в совокупности с моделью тягового электроснабжения железных дорог в программе MatLab должны обеспечить:

а) адекватность модели;

б) моделирование алгоритмов работы динамических устройств релейной защиты;

в) конструирование устройств релейной защиты и СТЭ с произвольными наборами измеряемых режимных параметров и контролируемых состояний объектов энергосистемы;

г) взаимодействие устройств релейной защиты и СТЭ;

д) точность и достоверность получаемой информации;

е) удобный и быстрый ввод данных и настройку устройств релейной защиты.

Вышеперечисленные требования используются для оценки качества построенной модели.

С помощью моделирования в среде MatLab, есть возможность получить реальный работающий инструмент математического и имитационного моделирования релейной защиты. Также можно исследовать работу релейной защиты, выявить причины и возможности исключения ложного срабатывания для дальнейшего усовершенствования реального устройства и введения его в эксплуатацию на железной дороге, что в целом позволит повысить техническое совершенство релейной защиты при организации движения поездов повышенной массы.

Библиографический список

1. Дьяконов, В. П. Matlab и Simulink в электроэнергетике : справочник / В. П. Дьяконов, А. А. Пеньков. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2009. – 816 с. – Текст : непосредственный.

2. Закарюкин, В. П. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков ; под редакцией А. В. Крюкова. – Иркутск : ИрГУПС. – 2010. – 160 с. – Текст : непосредственный.

3. Имитационное моделирование : учебное пособие / М. С. Эльберг, Н. С. Цыганков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Сибирский федеральный университет, Институт инженерной физики и радиоэлектроники. – Красноярск : СФУ, 2017. – 126 с. – Текст : непосредственный.

4. Осипова, В. Э. Применение нейросетевых методов прогнозирования электропотребления на железнодорожном транспорте / В. Э. Осипова, Д. А. Яковлев // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2022. – Том 18. – № 1. – С. 107–118. – Текст : непосредственный.

5. Osipova, V. E. ENERATION OF A RATIONAL TRAINING SAMPLE WHEN PREDICTING POWER CONSUMPTION FOR TRAIN

TRACTION / V. E. Osipova, D. A. Yakovlev // В сборнике : IOP Conference Series: materials Science and Engineering. International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019. – 2020. – С. 012040. – Текст : непосредственный.

6. Филиппов, С. А. Разработка способа идентификации режима работы системы тягового электроснабжения третьей ступенью дистанционной защиты фидеров контактной сети при пропуске поездов повышенной массы / С. А. Филиппов, Д. А. Яковлев, Р. С. Трифонов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 2 (58). – С. 132–140. – Текст : непосредственный.

С.А. Филиппов, О.А. Соловьёва, Н.С. Выбойченко
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ФИДЕРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ПРИМЕРЕ ЭЧ-1

В статье выполнен анализ и представлены статистические данные работы релейной защиты фидеров контактной сети (ФКС) на примере участка Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» ЭЧ-1. Выявлены наиболее распространённые виды причин срабатываний релейной защиты. Установлено распределение отключений фидеров контактной сети по причинам перегрузки по подстанциям ЭЧ-1. Представлены описательные статистики для наиболее частых видов отключений.

Ключевые слова: релейная защита, повышенная масса поездов, система тягового электроснабжения, фидера контактной сети.

Холдинг «РЖД» является лидером российского транспортного рынка и одной из крупнейших групп компаний в мировом транспортном секторе.

Основной целью холдинга является обеспечение непрерывного денежного потока, а это связано со скоростью и качеством исполнения обязательств перед заказчиками.

Качество и скорость доставки грузов напрямую зависит от того, какое количество составов максимального веса компания может пропустить с учетом естественных и технических ограничений системы тягового электроснабжения.

Компания имеет ряд целей, которые чётко обозначены в [1]. Пункт 5.3 [1] включает в себя задачи, которые ставит холдинг:

– совершенствование железнодорожной инфраструктуры для перехода на движение поездов повышенной массы с весовыми нормами поездов 9 тысяч тонн и более;

– снижение издержек за счет повышения энергоэффективности и производительности труда, рационализации и оптимизации ремонтных и эксплуатационных работ;

– повышение уровня безопасности перевозок, а также снижение факторов риска, связанных с воздействием «человеческого фактора» на технологический процесс.

Уже более 7 лет на Забайкальской железной дороге – филиала ОАО «РЖД» в обороте находятся сдвоенные поезда повышенной массы 12600 тонн по режимным картам, что в целом соответствует стратегическим задачам и целям, обозначенным в [1].

Бесперебойность движения поездов зависит от работы устройств релейной защиты. Повышенный вес поезда приводит к повышению максимального рабочего тока до значений тока уставки, из-за чего происходит ложное срабатывание защиты, что в свою очередь приводит к остановке поездов и задержке их в пути следования. Отказ работы релейной защиты, также приводит к повреждению контактной сети и оборудования тяговой подстанции. Тем самым это приводит к значительным экономическим потерям.

Существует неразграничение нормального и аварийного режимов работы СТЭ и необеспечение селективной работы направленной дистанционной защиты. Как следствие – частые ложные срабатывания третьей ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети, что в ряде случаев заставляет вообще вывести её из работы.

Ложные срабатывания защиты приводят к снижению надежности системы тягового электроснабжения, что нарушает одно из основных требований, которое должна обеспечивать релейная защита.

Данные о срабатываниях релейной защиты на участке Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» ЭЧ-1 можно пронаблюдать в статистиках работы релейной защиты фидеров контактной сети за 2020 и 2021 годы, которыепредставлены на рис. 1, 2.

Анализ диаграмм 1и 2выявил, что существенное количество срабатываний защит прослеживается по следующим видам отключений:

– неустановленные причины;

– неисправности электрооборудования электроподвижного состава (ЭПС);

– перегруз.

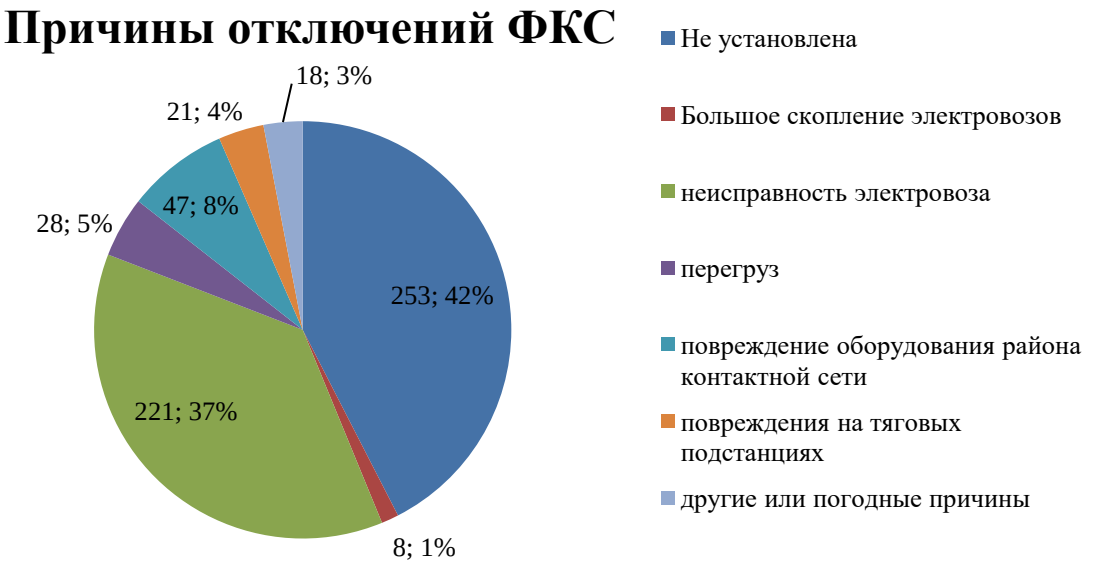


Рис. 1. Статистика срабатываний РЗФКС на Заб.ЖД за 2020 год

Рис. 2. Статистика срабатываний РЗФКС на Заб.ЖД за 2021

Анализ представленных статистик показывает, что в 2021 году значительно возросло общее количество отключений фидеров контактной сети по сравнению с 2020 годом, однако количество срабатываний устройств защиты в 2020 было не менее значимым. В 2020 году основная часть отключений произошла по неустановленной причине, а также вследствие неисправности ЭПС. В 2021 году примерно 40 процентов отключений возникли по причине перегруза.

Детализация статистики срабатываний релейной защиты по ЭЧЭ за 2020 и 2021 год представлена на рис. 3 и 4 соответственно.

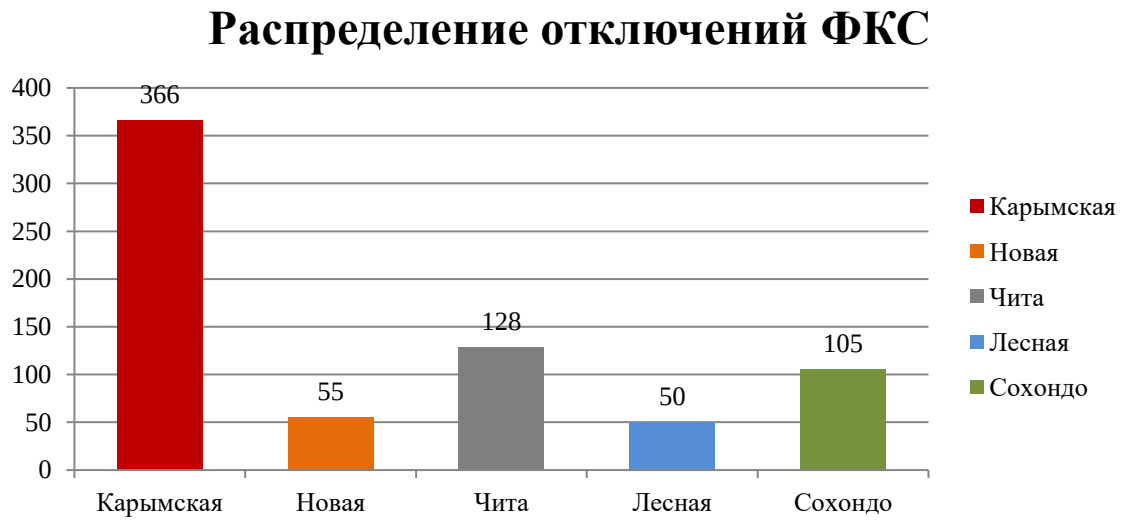


Рис. 3. Распределение отключений ФКС за 2020 год

Исходя из данных, представленных на рис. 3, в ЭЧЭ Карымское произошло наибольшее количество отключений фидеров контактной сети, в ЭЧЭ Новая и Лесная, напротив, наименьшее.

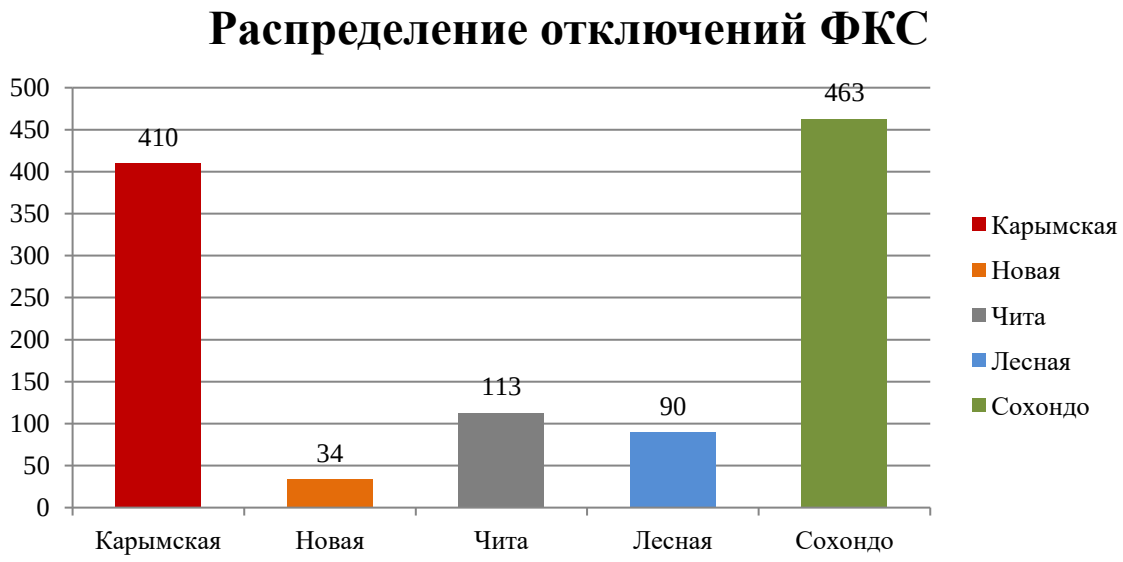


Рис. 4. Распределение отключений ФКС за 2021 год

Анализ диаграмм показывает, что наибольшее количество отключений произошло на ЭЧЭ Карымское и Сохондо, кроме того, число срабатываний устройств релейной защиты на указанных ЭЧЭ стало весьма существенным.

Сравнение статистики за 2020 и 2021 года показывает, что количество отключений фидеров контактной сети на участке Сохондовозросло в четыре раза, что является серьёзной проблемой.

Данное распределение отключений вызвано сложным профилем пути рассматриваемого участка, повышенной массой поездов, неисправностями подвижного состава, а также ненадежностью установленного на подстанциях оборудования и погодными условиями.

На Забайкальской железной дороге за последние годы значительно увеличился грузооборот, что пагубно сказалось на надёжности устройств релейной защиты. Повышенная масса поездов увеличивает максимальный рабочий ток до значений тока уставки. В связи с этим релейная защита не отличает режим короткого замыкания от нормального режима, что и подтверждается приводимой статистикой. Таким образом, вопрос совершенствования существующего алгоритма действия 3 ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети является весьма актуальным и требует продолжения работы в этом направлении.

Библиографический список

1. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года. – URL : https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=804(дата обращения: 10.10.2022). – Текст : электронный.

2. Фигуронов, Е. П. Релейная защита сетей тягового электроснабжения переменного тока : учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / Е. П. Фигуронов, Ю. И. Жарков, Т. Е. Петрова ; под редакцией Е. П. Фигурнова. – Москва : Маршрут, 2006. – 272 с. – Текст : непосредственный.

3. СТО РЖД 07.021.1-2015 Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки, часть 1. Общие принципы и правила построения защит, блокировок и автоматики в системах тягового электроснабжения [утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 27.05.2015 г. № 1351р]. – Текст : непосредственный.

4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 20 с. – Текст : непосредственный.

5. СТО РЖД 07.021.5-2018 Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки, часть 4. Методика выбора уставок защит в системе тягового электроснабжения переменного тока [утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 07.04.2016 г. № 615р]. – Текст : непосредственный.

6. Осипова, В. Э. Применение нейросетевых методов прогнозирования электропотребления на железнодорожном транспорте / В. Э. Осипова, Д. А. Яковлев // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2022. – Том 18. – № 1. – С. 107–118. – Текст : непосредственный.

7. Устройство третьей ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети / Р. С. Трифонов, С. А. Филиппов, Д. А. Яковлев, О. А. Соловьева // Патент на полезную модель 201026 U1, 24.11.2020. Заявка № 2020111263 от 05.06.2020. – Текст : непосредственный.

8. Востриков, М. В. Повышение надежности перевозочного процесса за счет внедрения устройства адаптивной дистанционной защиты резервных ступеней фидеров контактной сети / М. В. Востриков, С. А. Филиппов, Д. А. Яковлев // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Том 1. – С. 745–748. – Текст : непосредственный.

М.С. Якубов, М.А. Каримов
Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО КВАЗИУРАВНОВЕШИВАЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ УСТАНОВОК ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье были рассмотрены проблемы невозможности определения и оценивания тонких физических явлений, приводящих к возникновению дефектов, отказов, приводящих к созданию аварийным ситуациям

Для успешного решения задач технической диагностики, требуется разработка и совершенствование математических моделей технических средств диагностирования объектов тягового электроснабжения.

Ключевые слова: диагностика, преобразователь, тяговое электроснабжение, тесно-индуктивная связь.

Техническая диагностика динамических установок высокоскоростного тягового электроснабжения представляет собой активно развивающееся научное направление. Интерес к ней постоянно увеличивается в связи с возрастающими требованиями к метрологическим, статическим и динамическим свойствам а также эксплуатационными показателями надежности, обусловленные отличительными характерными особенностями тягового электроснабжения: несимметричностью несинусоидальностью тока и напряжений нагрузки, распределённостью параметров контактной сети, нелинейностью статических характеристик энергонапряженных объектов электроснабжения, а также невозможность определения и оценивания тонких физических явлений, приводящих к возникновению дефектов, отказов, приводящих к созданию аварийным ситуациям [1,2,3].

Для успешного решения задач технической диагностики, требуется разработка и совершенствование математических моделей технических средств диагностирония объектов тягового электроснабжения [5]. Вместе с тем существует точка зрения, согласно которой процесс диагностирования объектов тягового электроснабжения рассматривается как составная часть общего процесса управления тяговым электроснабжением.

Рассмотрение вопросов с функционального диагностирования совместно с оптимальным управлением процесса электроснабжения в контексте с общими метрологическими проблемами, диктуемые процессом диагностирования таких как совершенствование методов измерений, анализ погрешности, и чувствительности при измерении, и повышение показателей надежности обработке различных физических величин (механических и электрических параметров) составляет актуальную задачу, что и является содержанием настоящей работы.

В связи вышеуказанным большой интерес представляет в автоматических квазиуравновешиваемых преобразователях с индуктивносвязанными плечами, применение структурной параметрической связи в виде корректирующих частотозадающих цепочек, включаемых в обратную связь генератора синусоидальных колебаний переменной частоты, питающего квазиуравновешенную трансформаторную мостовую цепь и устанавливающая вследствие этого авторезонансный режим, позволяющего в кратный раз повысить его метрологические и эксплуатационные свойства вследствие применения принципа структурной избыточности [6,7].

Рассмотрим принцип действия и структурные схемы квазиуравновешиваемого модуляционного моста. На Рисунке представлена схема квазиуравновешиваемой четырехплечей МЦ с тесной индуктивной свя-

зью между плечевыми обмотками. Емкостный датчик Z1, представленный по параллельной схеме замещения, и образцовое емкостное сопротивление Z2 соединены последовательно с обмотками L1 и L2, намотанными на ферромагнитный сердечник.

В дальнейшем для упрощения расчетов предположим, что активные сопротивления обмоток равны нулю, паразитные емкости отсутствуют и коэффициент связи между обмотками равен единице, т. е. $M_{1,2} = \sqrt{L_1 L_2}$. ххх Выходное напряжение МЦ при положении 1 ключа k (U при $L_1 = L_2 = L_0$) равно

$$\dot{U}_{вых1} = \dot{U}_n \frac{j\omega\left[Z_3\sqrt{L_0 L_4}(Z_2 - Z_1) + Z_1 Z_2\sqrt{L_3 L_4}\right]}{Z_1 Z_2 Z_3 + j\omega[Z_3 L_0(Z_1 + Z_2) + L_3 Z_1 Z_2]}, \quad (1)$$

а при положении 2:

$$\dot{U}_{вых2} = \dot{U}_n \frac{j\omega\left[Z_3\sqrt{L_0 L_4}(Z_2 - Z_1) - Z_1 Z_2\sqrt{L_3 L_4}\right]}{Z_1 Z_2 Z_3 + j\omega[Z_3 L_0(Z_1 + Z_2) + L_3 Z_1 Z_2]}. \quad (2)$$

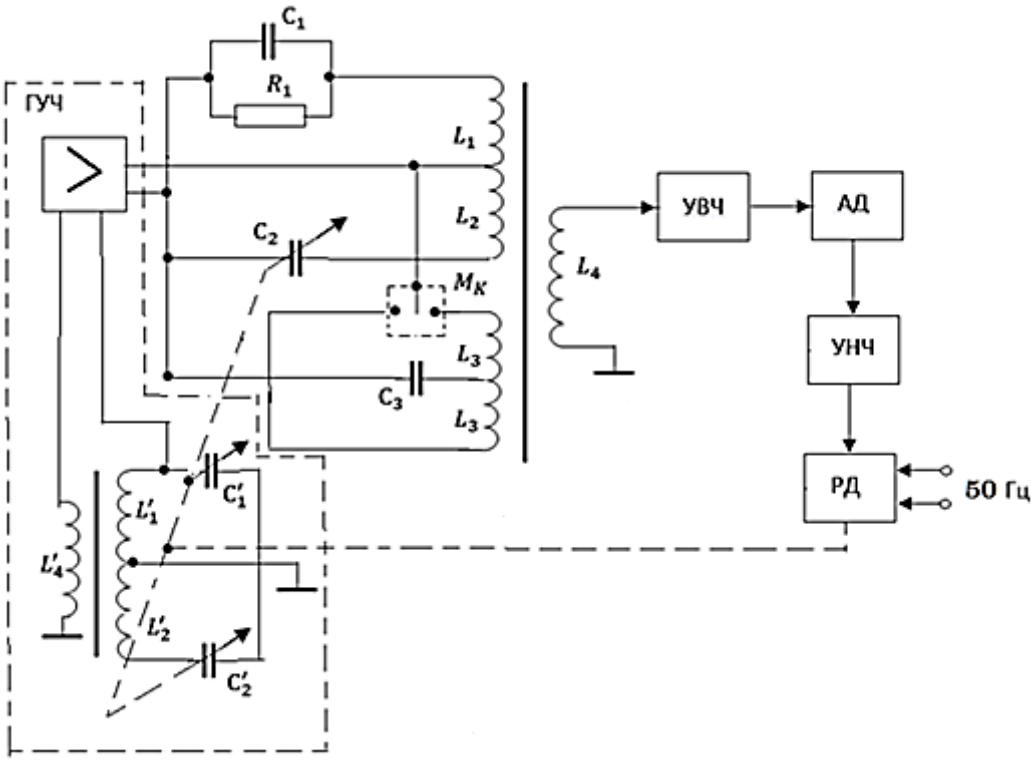


Рисунок. Схема экстремального квазиуравновешиваемого преобразователя с максимальной чувствительностью с введением параметрической связи

Это условие можно поддерживать в режиме авторезонанса [10] изменением частоты питания МЦ по закону

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_0(C_1+C_2)+L_3C_3}}. \quad (3)$$

Условие (3) является алгоритмом функционирования цепи параметрической связи, схемная реализация принципа авторезонанса изменением частоты приведена на Рисунке.

При неизменных величинах индуктивностей L_0, L_3 и коммутационной емкости C_3 резонансная частота вблизи положения равновесия $C_k = C_1 + C_2$ однозначно будет определяться величиной переменной емкости C_2.

Параметрическая связь, поддерживающая условие (3), осуществляется просто, если для питания МЦ используется LC-генератор со стабилизированным выходным напряжением. При этом параметры колебательного контура LC-генератора должны быть равны L_k=$L_{0;}$ $C_1 = C_2$, а образцовая уравновешивающая емкость в МЦ C_2 соединенная соосно с емкостью C_0 в цепи колебательного контура генератора. Описываемый мостовой преобразователь относится к следящим системам экстремального регулирования, самонастраиваемая на максимальную чувствительность [11]. Рассмотрим принцип его действия (см. Рисунок). Мост содержит источник питания, частота которого меняется в зависимости от изменения емкости C_0' задающего LC-контура генератора; мостовую цепь, состоящую из измеряемого емкостного датчика, образцовой емкости $C_г$, симметричных плеч отношений с тесной индуктивной связью (T_{p1}') и модуляционной емкости C_3 с коммутатором. Выходное напряжение МЦ через усилитель высокой частоты поступает на амплитудный детектор (АД), с выхода которого сигнал низкой частоты подается на сервоусилитель, управляющий реверсивным микродвигателем. Реверсивный двигатель соединен с двухсекционным конденсатором C_2, одна секция которого находится в МЦ и уравновешивает ее, а другая в цепи колебательного контура генератора и изменяет ее частоту. В этой схеме экстремальным объектом управления является мостовая измерительная цепь. Она характеризуется функцией качества

$$\left|\dot{U}_{вых}\right| = \left|\dot{U}_n\right| \sqrt{\frac{\omega^4 R_1^2 C_1^2 \left(C_2\sqrt{L_4L_0} - C_3\sqrt{L_3L_4}\right)^2 + \omega^2\left[\sqrt{L_4L_0}(C_1+C_2)+\sqrt{L_4L_3}C_3\right]^2}{[R_1C_2 - \omega^2 R_1C_1(-L_0C_2 - L_3C_3)]^2 + \omega^2\left[L_0(C_1+C_2)+L_3C_3-\frac{1}{\omega^2}\right]^2}}. \quad (5)$$

Как видно из (5), помимо уравновешиваемого параметра это условие зависит также от неконтролируемых параметров и от частоты питания.

В рассматриваемом квазиуравновешенном мостовом преобразователе положение текущей точки на экстремальной характеристике, т. е. отклонение от минимума, определяется пробным изменением регулируемого параметра и оценкой этих изменений, т. е. методом синхронного детектирования.

В рассматриваемом квазиуравновешенном преобразователе для организации движения к точке экстремума используется метод градиента. Сущность его состоит в том, что система движется в направлении обратном мгновенному направлению вектора градиента функции [8,9]. Непрерывное измерение градиента и регулирования по этому сигналу уравновешивающей емкости C_2 дает возможность уравновесить МЦ т. е.

$$\frac{\partial C_2}{dt} = -k\frac{\partial|\dot{U}_{вых1}|}{\partial C_2}. \qquad (6)$$

Общие вопросы динамики непрерывных самонастраивающихся систем, к *которым* относится и рассматриваемая система, детально изучены А. А. Красовским. В отличие от обычных экстремальных систем в ней экстремальное регулирование совмещается с экстремальной настройкой по чувствительности [9]. Это обусловливает особенности их структурных схем.

Заключение. Введение параметрической обратной связи в квазиуровновешиваемые преобразователи с тесно-индуктивной связью путем автоматического регулирования частоты источника питания мостовой цепи инвариантные свойства к не измеряемому параметру, увеличивает их чувствительность по основному параметру в кратное число раз и быстродействие в 2–3 раза.

Для эффективного уменьшения взаимосвязь сигналов уравновешивания в любых измерительных цепях и фазовой нестабильности в их усилительно-преобразовательном тракте следует использовать структурную параметрическую обратную связь, управляемую сигналом формируемую на основе коэффициента взаимосвязи каналов по активной и реактивной составляющей выходного сигнала измерительной мостовой цепи.

Библиографический список

1. Информационно-измерительная техника и электроника / под редакцией Г. Г. Раннева. – Москва : Академия, 2006. – 512 с. – Текст : непосредственный.

2. Ким, К. К. Метрология и техническое регулирование / К. К. Ким, В. Ю. Барбарович, Б. Я. Метвиков. – Москва : Маршрут, 2006. – 256 с. – Текст : непосредственный.

3. Новицкий, П. В. Цифровое приборы с частотными датчиками / П. В. Новицкий, В. Г. Кнорринг, В. С. Гутников. – Ленинград : Энергия, 1970. – 248 с. – Текст : непосредственный.

4. Артеньев, Б. Г. Поверка и калибровка средств измерений / Б. Г. Артеньев. – Москва : Стандарт информ, 2006. – 406 с. – Текст : непосредственный.

5. Плакс, А. В. Системы управления электрическим подвижным составом / А. В. Плакс. – Москва : Маршрут, 2005. – 360 с. – Текст : непосредственный.

6. Барч, Б. Д. Совершенствование системы обслуживания устройств электроснабжения на основе мониторинга и диагностики / Б. Д. Барч. – Санкт-Петербург : Известия ПГУПС. – 2013. – № 3. – С. 103–110. – Текст : непосредственный.

7. Чижма, С. Н. Современные требования к приборам контроля показателей качества электроэнергии электрических сетей железных дорог / С. Н. Чижма. – Омск : Вести Трансиба. – 2020. – № 2. – С. 11–17. – Текст : непосредственный.

8. Патент IAP-04362 Республики Узбекистан. Преобразователь линейных перемещений / Р. Ж. Баратов, М. С. Якубов, А. Х. Суллиев // Расмий ахборотнома. – 2000. – № 3. – Текст : непосредственный.

9. Якубов, М. С. Анализ статических и динамических характеристик авторезонансных электромагнитных преобразователей / М. С. Якубов, А. Х. Суллиев, М. Рахманов // Химическая технология. Контроль и управление : Международный научно-технический журнал. – Ташкент, 2011. – № 1. – С. 58–63. – Текст : непосредственный.

10. Inproved capacitance measurement by means of resonance locking. Tapson I., W/5-1994. – p 20–26. – Текст : непосредственный.

11. Cropley D.H. Qualitative anabysis and optimisation of measurement system ACTA IMEKO 2. – 1994-XIII. V. – Текст : непосредственный.

12. Jones Carry D. Chin, A. Foster (1991) Electrikal Instruments and Measurement, Prentive Hall, ISBW 987013248495. – Текст : непосредственный.

М.С. Якубов, И.А. Каримов
Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБЪЕКТОВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В работе анализировано состояние информационно-измерительных комплексов для контроля и диагностирования объектов тягового электроснабжения высокоскоростных железных дорог, совмещенных с системой оперативно-диспетчерского управления.

Предложена классификация методов предварительной обработки измерительной информации по признакам назначения, по виду воздействия на объект, по способу представления результатов контроля и передачи измеряемых параметров, по характеру изменения во времени и видам программной обработки. Описаны модели интегральных характеристик измерительных сигналов, аппроксимируемыми случайными величинами, имеющих нормальный закон распределения плотности вероятности и корреляционной функции, которые могут быть использованы при разработке алгоритмов предварительной обработки измерительной информации.

Ключевые слова: измерительная информация, тяговая подстанция, контактная сеть, датчики, диагностика, система электроснабжения, классификация, плотность вероятности, модель.

Одним из важных вопросов при создании технической диагностики тягового электроснабжения высокоскоростных железных дорог, является разработка методов предварительной обработки измерительной информации, для обеспечения высокого уровня надежности и безопасности движения. Эти параметры закладываются на этапе проектирования, конструирования и поддерживаются в процессе эксплуатации путем технического обслуживания и ремонтов [1].

Современные информационно-измерительный комплексы (ИИК) состоят из подсистем информационно-измерительной системы оперативно-диспетчерского управления, средств телемеханики и связи, совмещенных с системой диагностирования объектов тягового электроснабжения. Средства предварительной обработки измерительной информации включают в себя разнообразные датчики физических величин,

преобразователи, функционирующих на основе микроэлектронных и микропроцессорных компонентов.

Основными носителями измерительной информации для диагностики объектов тягового электроснабжения (ТЭС) являются силовые трансформаторы (СТ) подстанций, высоковольтные выключатели, элементы и устройства контактной подвески и другие устройства электроснабжения. Эти устройства и элементы взаимодействуют непосредственно с высокоскоростным подвижным составом, имеют свой локальный информационно – измерительный комплекс (ИИК), на основе которого определяется техническое состояние и вырабатывается управляющее воздействие для его диагностирования, мониторинга и прогнозирования [1,2,8,9].

По технологическому признаку, измерительную информацию, циркулирующую в ТЭС, получаемую от встроенных датчиков и мобильных специализированных приборов, можно разделить на следующие группы:

1) Локальную информационно-измерительную подсистему (ИИП) силовых трансформаторов тяговой подстанции;

2) ИИП высоковольтных выключателей (ВВ);

3) ИИП контактной подвески тяговой сети;

4) ИИП установки энергохозяйства, обслуживающие собственные нужды.

В вышеуказанных группах имеются однородные измеряемые величины, например, температура, влажность, механическое смещение, электрическая прочность изоляции, напряжение, ток, мощность и другие рабочие параметры, отличающиеся друг от друга динамическим диапазоном, необходимой точностью измерения и характером изменения во времени.

Измерительная информация, характеризующая техническое состояние ТЭС включает в себя такие физическая величины как входные и выходные напряжения и токи, мощность потерь, коэффициент мощности, напряжение короткого замыкания, диапазон допустимых температур отдельных электрических и крепежных элементов. К этой же информации относятся результаты, характеризующие диагностическое состояние элементов при различных режимах, гармонические составляющие напряжений и токов, параметры спектров, хронометрический анализ газов, растворенных в трансформаторном масле, результаты тепловизионного контроля, уровень частичных разрядов в изоляции, а также состояние устройства регулирования напряжения под нагрузкой трансформатора [3].

Измерительная информация высоковольтных выключателей включает в себя данные, отражающие контроль коммутационного, механического оборудования, контроль утечек дугогасительной среды, оставшийся ресурс и др.

Измерительная информация контактной подвески включает в себя данные, такие как эластичность величин натяжений контактных проводов, несущего троса и параметров грузокомпенсирующих устройств, размещенных на анкерных опорах контактной сети [1,3,6,8,11].

Разнообразие измеряемых физических величин в объектах силового электрооборудования и установок контактной системы, изменяющихся относительно в большом динамическом диапазоне режимных параметров в условиях влияния внешних воздействий окружающий среды, необходимость совершенствования системы передачи по проводным и безпроводным линиям связи в виде непрерывных и дискретных сигналов обрабатываемые микропроцессорами и удовлетворяющих требованиям функционального диагностирования и мониторинга, а также совмещенной с системой оперативно-диспетчерского управления, ставит задачу разработки новой классификации информационно-измерительного комплекса тягового электроснабжения, а также составление интегральных характеристик измерительных сигналов разных физических величин и параметров, повышение численных показателей надёжности, определяет актуальность данной работы.

Рекомендуемая классификация ИИК ТЭС представлена на рис. 1.

Рис. 1. Классификация ИИК для контроля и диагностики тягового электроснабжения

Классификационными признаками информационно-измерительного комплекса для технического контроля и диагностики объектов тягового электроснабжения целесообразно выбирать по: способу обработки информации, форме контроля и диагностирования, виду воздействия на объект, числу различных состояний, способу представления результатов контроля, способу приема информации, виду используемого программного устройства, степени автоматизации, универсальности, унифицированности по видам каналов связи с объектом.

Большое разнообразие указанных классификационных признаков ИИП для систем технического контроля и диагностирования требует разработки математических методов обработки первичной информации, совмещённой с системой оперативно-диспетчерского управления в соответствии с необходимыми метрологическими характеристиками и с учётом его многоуровневой структуры.

По характеру изменения во времени, измерительная информация подразделяется на аналоговую и дискретную, получаемую через определенные промежутки времени [4].

Характер измерения измерительной информации однозначно определяет способ её обработки и передачи на вышестоящие ступени.

Информационно-измерительная техника развивается в направлении совершенствования аппаратуры, выполняющую масштабирование подаваемой на её вход измерительной информации в реальном масштабе времени с определенной периодичностью, записывая результаты измерения в промежуточную память с последующей цифровой обработкой. Оба эти направления характеризуются разработкой многоканальных средств с централизованной обработкой микропроцессорами с последующей индикацией и регистрацией информации. Процесс измерения и обработки с целью диагностирования осуществляется с помощью программного управления, с учетом функциональных возможностей в части разделения на информационно-управляющие и информационно-диагностические [4,7,13,15].

По виду воздействия на измеряемый объект, ИИК разделяются на активные, тестовые, пассивные, степени автоматизации, способу контроля и диагностирования применением спектрального анализа выходных сигналов.

Измерительная информация для контроля и диагностирования подразделяется на аналоговую и цифровую, с последующей введением ее в ПЭВМ.

По виду программного устройства, системы контроля и диагностики делятся на системы с внешним и внутренним программированием.

Назначение и форма представления измерительной информации определяться алгоритмом обработки.

С целью уменьшения объёма передаваемой измерительной информации с сохранением основного диагностического признака и расширения возможностей функционального диагностирования, её переводят в цифровую форму. Для передачи информации по существующим каналам связи находят его обобщенную интегральную характеристику по формуле [6,10]:

$$V_c = T_c D_c F_c \,, \tag{1}$$

где T_c – время передачи сигнала; D_c – диапазон измерения; F_c – полоса частот, соответствующая диапазону измерения.

Дискретизация измерительных сигналов, позволяющих передавать их без потерь, осуществляется на основании теоремы Котельникова:

$$\Delta t = \frac{1}{2f_m}\,, \tag{2}$$

где f_m – наивысшая частота спектра передаваемого сигнала; Δt – интервал дискретизации по времени.

Такая дискретизация даёт возможность передавать полученную измерительную информацию по каналам связи без потерь.

При измерении и определении интервалов дискретизации, учитываются типы аппроксимирующей функции и выбранные критерии оценки отклонения аппроксимирующей функций от исходного сигнала.

На стадии предварительной обработки измерительной информации, целесообразно использовать критерий наибольшего отклонения:

$$\Delta a = Sup[X(t) - Y(t)], \tag{3}$$

или среднеквадратический критерий

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{T_c}\int_0^T |X(t) - Y(t)|^2\, dt, \tag{4}$$

где $X(t)$ – исходный сигнал, который дискретизируется; $Y(t)$ – аппроксимируемая функция.

По критерию наибольшего отклонения оценивается основные измеряемые величины, характеризующие диагностирующие параметры, такие как входные и выходные напряжения, токи, температура обмоток силового трансформатора, механический износ, величина провеса и температура контактного провода, а также среднеквадратические крите-

рии оценки погрешности аппроксимации таких параметров как активной P, реактивной мощностей Q и также полной мощности S трансформатора, параметры вибрации контактной подвески. При аппроксимации первичных измерительных сигналов диагностирования, могут быть использованы ряд Фурье, полиномы Ньютона, Чебышева ряд законов распределения плотности вероятностей.

Укажем здесь, что при аппроксимации степенными полиномами интервал дискретизации первичной информации определяется выражениями [6,12]:

– при использовании критерия наибольшего отклонения:

$$\Delta t \leq \frac{2\Delta a}{Sup[X'(t)]}; \tag{5}$$

– при использовании среднеквадратического критерия:

$$\Delta t \leq K_x^{-1}(\tau)\left[K_x(0) - \frac{\sigma_a^2}{2}\right], \tag{6}$$

где $Sup[X'(t)]$ – наибольшее значение первой производной, определяемое по наивысшей частоте спектра и с учетом $\max[X(t)]$ измеряемого сигнала; K_x^{-1} – функция, обратная корреляционной функции измеряемого сигнала; $K_x(0)$ – значение корреляционной функции при $\tau_a = 0$.

Основной особенностью измерительных сигналов тяговой подстанций и контактной сети и методов их предварительной обработки, является возможность её аппроксимации случайной функцией вида:

$$X(t) = X_{\text{н}} \pm at\ , \tag{7}$$

где $X_{\text{н}}$ – номинальное значение измеряемой величины; a – случайный коэффициент, характеризующий скорость изменения величины $X(t)$.

В выражении (7), номинальное значение соответствует математическому ожиданию измеряемой величины в нормальном режиме работы подстанционного оборудования или контактной сети, т.е.

$$X_{\text{н}} = M_{\text{н}}(X)\ . \tag{8}$$

Обобщение методов анализа и обработки измерительных сигналов целесообразно определять по математическим моделям, дающих оценивать возможность математические ожидания, дисперсии и вероятности появления величин, выходящих из заданного интервала, с учетом того, что обычно измеряемые величины диагностируемых объектов электро-

снабжения $X_{\text{н}}$ имеют нормальный закон распределения плотности вероятности [6,7,8,21]:

$$P(X) = \frac{1}{\sigma_{\text{н}}(X)\sqrt{2\pi}} \cdot exp\left(-\frac{(X-m)^2}{2\sigma_{\text{н}}^2(X)}\right), \qquad (9)$$

где $\sigma_{\text{н}}(X) = \sqrt{D_x}$ – среднеквадратическое отклонение измеряемой величины при нормальном режиме работы контролируемого устройства, m – математическое ожидание случайной величины X, $\sigma_{\text{н}}^2 = D(X) = D_x$ – дисперсия, $\sigma = +\sqrt{D_x}$ – среднее квадратическое (стандартное) отклонение.

Выражение (9) можем записать также в виде:

$$P_1(X) = \frac{\rho}{E\sqrt{2\pi}} \cdot exp\left(-\frac{\rho^2(X-m)^2}{E^2}\right), \qquad (10)$$

где $E = \rho\sigma\sqrt{2}$ – вероятное (срединное) отклонение X ; $\rho = 0{,}476936$.

При гауссовском распределении, вероятность попадания случайной величины X в заданный интервал (α, β) определяем как [6]:

$$P(\alpha \le X < \beta) = \Phi\left(\frac{\rho-m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha-m}{\sigma}\right), \quad (11)$$

где $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{z} exp\left(\frac{-X^2}{2}\right)dx, \quad \Phi(-z) = 1 - \Phi(z)$ – табулированный интервал вероятности.

Для дискретной величины, плотность вероятности выражаем как [9,22]:

$$P_1(X) = \sum_{i=1}^{n} p_i\, \delta(X - x_i)\,, \qquad (12)$$

где x_i – значения измеренной случайной величины X, p_i – вероятность возможных значений; $\delta(z - z_0)$ – дельта функция, т.е. функция Дирака.

Наблюдения показывают что объектов и устройств ТЭС, появление дефектов, такие как износ, старение изоляции и деформация статических и динамических характеристик и др. по-разному сказывается на изменение параметров $M_{\text{н}}(X)$ и $\sigma_{\text{н}}(X)$.

По характеру изменения $M(X)$ и $\sigma(X)$ во времени, измеряемые величины можно подразделить на следующие три группы:

1) с изменяющимся математическим ожиданием и постоянной дисперсией:

$$M(X) = Var; \;\; \sigma(X) = const\,. \qquad (13)$$

Характер изменения параметров указанных величин представлен графиком 1 на рис. 2. К таким физическим величинам относится износ контактного провода, содержание продуктов старения в трансформаторном масле, потребляемая мощность и энергия, электрическое сопротивление изоляции и др. Указанное изменение математического ожидания можно выразить математической моделью:

$$M(X) = M_{\text{н}}(X) \pm V_{\text{м}}(t)\ , \qquad (14)$$

где $V_{\text{м}}(t)$ – скорость изменения математического ожидания.

2) В ТЭС имеется ряд нарушений нормального режима работы устройства, характеризуемый превышением дисперсии измеряемой величины заданного уровня при неизменном математическим ожиданием:

$$M(X) = const; \quad \sigma(X) = Var; \quad \sigma(X) = \sigma_{\text{н}}(X) \pm V_{\sigma}(t)\ . \qquad (15)$$

Примером таких величин является вибрация несущего троса и контактного провода контактной системы (рис. 2, б).

3) Наблюдается также, например, нарушение нормального провиса контактного провода и потери массы, вследствие износа токосъемных элементов при определенных усилий нажатия.

Аналогичный процесс происходит при предотказном эксцентритете с ростом частоты вращения ротора тягового асинхронного двигателя токоприёмника которую можно идентифицировать выражениями:

$$M(X) = M_{\text{н}}(X) \pm V_{\text{н}}(t); \quad \sigma(X) = \sigma_{\text{н}}(X) \pm V_{\sigma}(X)\ . \qquad (16)$$

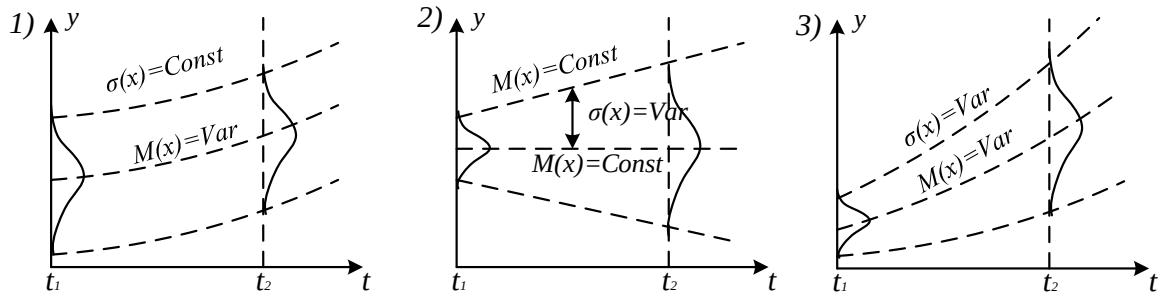


Рис. 2. Характер изменения величин в диагностируемых объектов СЭС

Предложенная выше классификация и зависимости (10÷16) функциональных величин с разными физическими величинами, позволяют оценить их свойства и ограничиться минимальным количеством экспериментальных данных при оценке технического состояния и диагностирования различных объектов ТЭС и отдельных их установок. Примером может служить математическая модель измерительного сигнала для диагностирования в виде функции спектральной плотности [2,5,7,13]:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(t)\, e^{-j\alpha t} dt \qquad (17)$$

и корреляционной функции

$$K(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(t)\, X(t+\tau)\,, \qquad (18)$$

которая является более информативной, но в тоже время основным недостатком которой является техническая сложность обработки сигнала.

Уравнения (13) и (14) связаны между собой преобразованием Винера-Хинчина:

$$K(\tau) = \int_{0}^{\infty} S(\omega)\, cos\omega t d\omega\,. \qquad (19)$$

$$S(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_{0}^{\infty} K(\tau)\, cos\omega t dt\,. \qquad (20)$$

Чтобы определить экспериментальные характеристики, необходимо знать связи характеристик случайного процесса со средним числом его пересечений линии математического ожидания в единицу времени n и количеством максимумов m [11]. При этом, корреляционную функцию целесообразно аппроксимировать следующими экспонентами [2,11]:

$$K(\tau) = \frac{\sigma^2}{a-1}\left[ae^{-\gamma|\tau|} - e^{-a\gamma|\tau|}\right] \text{ при } a > 1 \qquad (21)$$

и

$$K(\tau) = \sigma^2\left[1 - a|\tau|e^{-\gamma|\tau|}\right] \text{ при } a = 1\,, \qquad (22)$$

где – δ дисперсия; a – коэффициент, характеризующий скорость математического ожидания измеряемого сигнала; γ – интенсивность отказов передаваемой информации, 1/час.

Полученные модели (13–18) можно использовать при разработке более совершенных алгоритмов предварительной обработки результатов

измерений для диагностики устройств электроснабжения высокоскоростных железных дорог.

Заключение. Разработана классификация измерительной информации для систем технического контроля и диагностирования по признакам, характеризующих их внутреннее строение и функциональную принадлежность упорядочить информационные потоки и разработать соответствующие алгоритмы предварительной обработки, измерительных сигналов с учетом их уровня квантования, дискретизации, оценки математического ожидания и дисперсии. Определен минимальный объём измерительной информации, позволяющий с допустимой погрешностью определять доверительный процесс диагностирования параметров. Показана необходимость разработки современных методов предварительной обработки измерительной информации, направленной на энергоэффективные режимы электроснабжения с повышенными показателями надежности железнодорожного транспорта.

Средства измерения, ориентированные на диагностику объектов ТЭС, совмещённые с оперативно-диспетчерским управлением должны функционировать как автономно, так и в составе информационных комплексов с возможностью предварительной обработки в нормальных и аварийных режимах в реальном масштабе времени и циклической передачи информации через Internet и других каналов связи с использованием стандартных коммуникационных протоколов и возможностью интегрирования в высшие уровни иерархической системы управления ТЭС.

Библиографический список

1. Абрамов, О. В. Прогнозирование состояния технических систем / О. В. Абрамов, А. М. Розенбаум. – Москва : Наука, 1990. – 125 с. – Текст : непосредственный.

2. Горяинов, В. Т. Статистическая радиотехника. Примеры и задачи / В. Т. Горяинов, А. Г. Журавлев, В. И. Тихонов ; под редакцией В. И. Тихонова. – Москва : Советское радио, 1989. – 364 с. – Текст : непосредственный.

3. Бриждин, К. Измерительные преобразователи : справочное пособие / К. Бриждин [перевод с английского]. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 144 с. – Текст : непосредственный.

4. Бурков, В. Н. Модели и методы управления организационными системами / В. Н. Бурков, В. А. Ириков. – Москва : Наука, 1994. – 300 с. – Текст : непосредственный.

5. ГОСТ 8.438-81 Системы информационные измерительные и их поверка. Общие положения. – Текст : непосредственный.

6. Гук, М. Аппаратные средства локальных сетей / М. Гук. – Санкт-Петербург, 2000. – 572 с. – Текст : непосредственный.

7. Кноринг, В. Г. Развитие репрезентивной геории измерений / В. Г. Кноринг // Измерения контроль, автоматизация. – 1980. – 460 с. – Текст : непосредственный.

8. Ефанов, Д. В. Система и способ непрерывного мониторинг состояния контактной сети рельсового транспорта. Патент № 2701887 Российской Федерации / Д. В. Ефанов, В. А. Гросс [и др.]. – Текст : непосредственный.

9. Чичев, С. И. Информационно-измерительная система электросетевой компании / С. И. Чичев, В. Ф. Калинин, Е. И. Глинкин. – Москва : Спектр, 2011. – 156 с. – Текст : непосредственный.

10. Куликовский, К. Л. Методы и средства измерений / К. Л. Куликовский, В. Я. Купер. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 540 с. – Текст : непосредственный.

11. Сидоров, О. А. Системы контактного токосъема с жестким токопроводом : монография / О. А. Сидоров. – Москва : Маршрут, 2013. – 323 с. – Текст : непосредственный.

М.С. Якубов, К.Х. Турдибеков, А.Х. Суллиев
Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В работе рассмотрены вопросы совершенствования информационно-измерительного комплекса диагностирования и мониторинга оборудования тягового электроснабжения при высокоскоростном движении, имеющие ряд особенностей, связанных с многоуровневой иерархической структурой, пространственной распределеностью объектов, энергетическими режимами и функциональными соотношениями. Сделан анализ передачи и преобразования измерительной аналоговой информации в цифровую с учетом максимальной частоты составляющих спектра первичного сигнала по параметрам дискретизации и квантования

для определения времени такта преобразования сигнала в цифровую форму.

Получены функциональные зависимости и алгоритм обработки измерительной информации с учетом многоуровневой структуры тягового электроснабжения, позволяющие повысить достоверность и точность диагностирования основных объектов при высокоскоростном движении.

Ключевые слова: диагностирование, информационно-измерительный комплекс, преобразование, тяговый трансформатор, контактная сеть, спектр, цикл, дискретизация.

Составной частью информационно-измерительного комплекса (ИИК) диагностирования объектов тягового электроснабжения при высокоскоростном движении является его математическое, алгоритмическое и программное обеспечение. Без его разработки, эффективная эксплуатация данного комплекса невозможна [1,2,3,4,5,7].

Каждый объект тягового электроснабжения отличается своими конструктивными, технологическими и метрологическими параметрами. В связи с этим и различаются методы диагностирования данных объектов.

ИИК диагностирования объектов тягового электроснабжения имеет ряд особенностей, которые должны быть учтены при проектировании, создании и эксплуатации его математического, алгоритмического и программного обеспечения [3,4,5] а именно:

а) различные физические параметры, характеризующие режим работы взаимосвязанных технологических объектов подстанционного силового оборудования и различных элементов контактной сети со сложными структурными и функциональными соотношениями, находящихся под нагрузкой;

б) объекты электроснабжения имеют с одной стороны пространственную распределенность, а с другой стороны имеют также технологическое, информационное и энергетическое взаимодействие элементов с учетом многоуровневой иерархической структуры, входные и выходные параметры которых должны быть согласованы конструктивно, метрологически и с программным обеспечением с вышестоящими устройствами;

в) высокие скорости движения обуславливают жесткие ограничения на продолжительность обработки информации при автоматическом управлении процессов движения с одновременным выполнением мате-

матических расчетов, программ обработки данных при заданных промежутках времени;

Существующая система обработки получаемой измерительной информации, например, для установок контактной сети, являющаяся наиболее уязвимым объектом, обладает серьёзными недостатками, обусловленное большим интервалом времени между посещениями их участков персоналом, что приводит к запаздыванию в обнаружении повреждений в их работе, к низкой достоверности данных и субъективности оценок, и способствует развитию процессов отказов.

г) ИИК должен быть совершенствован на основе современных микропроцессорных устройств;

д) ИИК должен быть обеспечен высокой программной устойчивостью в процессе диагностирования с использованием совместных мониторинговых методов.

Совершенствование ИИК диагностирования и мониторинга технического состояния оборудования системы тягового электроснабжения при высокоскоростном движении с учетом вышеуказанных особенностей является актуальной задачей.

Для диагностирования установок подстанционного оборудования и установок на вход ИИК должны поступать выходные сигнала первичных преобразователей, являющихся носителями информации технического состояния объектов с номерами i_r: y_j; $i \in \overline{1,N}$; $r \in \overline{\alpha,n}$; где N – номер технологического объекта, например опоры контактной сети или номер тягового трансформатора и т.д.; a – измеряемый параметр; r – вид датчика; n – номер датчика. Над выходными сигналами различающихся по форме и диапазону изменения [y_{min}, y_{max}] выполняются преобразования в аналоговом виде: осуществляется их нормализация, унификация с учетом установившихся динамических диапазонов выходных величин: 0-10 мА, 0-10 В [0, $y_н$].

С учетом того, что процесс современной обработки в ИИК для диагностирования и управления, требует дискретного и цифрового представления, необходимо предусмотреть аналоговый коммутатор, который должен выполнять две функции:

– обеспечить переключение аналоговых измерительных сигналов, поступающих от первичных преобразователей (тока, напряжения, фазовых углов, температуры, электрического сопротивления изоляции и пр.) по независимым параллельным линиям связи и на одну линию с последовательной передачей аналоговых сигналов по этой линии.

– реализовать в соответствии непрерывным функциям $y_j^{ir}, i = \overline{1,N}$, $r = \overline{\alpha,n}$, $j = \overline{1,n}$, последовательность прерывистых или дискретных функций $y_j^{ir}, i = \overline{1,N}, r = \overline{\alpha,n}, j = \overline{1,n}$.

Согласно теореме В.А. Котельникова, теоретически достаточно выбрать частоту дискретизации равным:

$$f_D = 2f_{max}^* , \quad (1)$$

где f_{max}^* – максимальная частота в спектре быстроизменяющегося процесса с учетом разложения Фурье. Однако в процессах диагностирования и управления целесообразно использовать выражение [4,5]:

$$f_D = K_D f_{max} , \quad (2)$$

где K_D – численный коэффициент.

Укажем здесь, что для увеличения достоверности в ИИК диагностирования установок тягового электроснабжения, целесообразно использовать циклический режим опроса первичных преобразователей. В этом случае время цикла T_{ir} для устройств обработки $i = \overline{1,N}, r = \overline{\alpha,\eta}$, можно находить как:

$$T^{ir} = \frac{n}{f_{ir}} , \quad (3)$$

где n – число датчиков (преобразователей), подключаемых к устройству обработки. Частоту дискретизации выходных сигналов для первичных преобразователей устройств обработки находим в виде:

$$f_{ir} = n \cdot f_D , \quad (4)$$

где f_D – частота дискретизации, определяемая по (2); n - количество первичных преобразователей.

Имея в ввиду (2) и (3) получим:

$$T^{ir} = \frac{1}{f_D} . \quad (5)$$

Далее дискретное представление измеренной величины должно быть преобразовано в цифровую форму.

Известно [5], что значение аналогового сигнала выполняется согласно длительности соответствующей продолжительности аналого-цифрового преобразования. Значение погрешности определяется дли-

тельностью преобразования. Длительность преобразования $\Delta t_{\text{пр}}$, при которой приращение первичного сигнала с установленной скоростью изменения не превышает шага квантования.

Учитывая наибольшие скорости изменения измеряемых физических величин объектов при высокоскоростном движении, для оценки длительности преобразования $\Delta t_{\text{пр}}$ можно воспользоваться следующей формулой [3,4]:

$$\Delta t_{\text{пр}} \equiv (0{,}4h \cdot f_{max})^{-1}\text{сек}\,, \qquad (6)$$

где h – число уровней квантования аналого-цифрового преобразователя;

f_{max} – максимальная частота контролируемого процесса.

В соответствии с вышеуказанным, многоуровневая функциональная блок-схема ИИК диагностированная и управления тягового электроснабжения приведена на рис. 1.

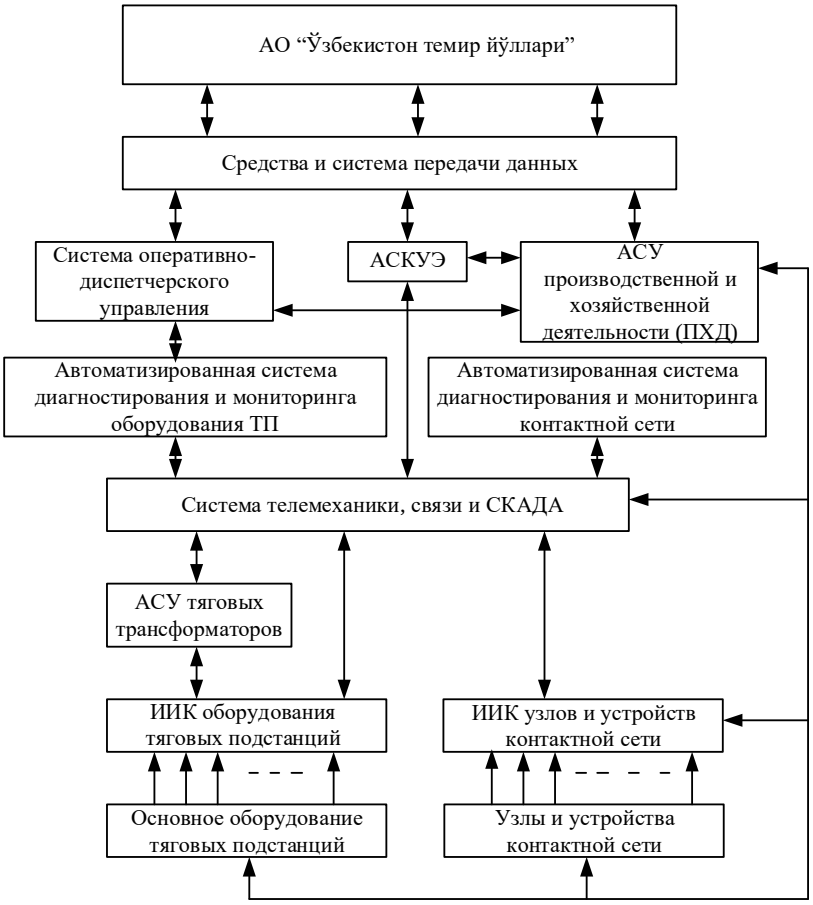


Рис. 1. Многоуровневая функциональная блок-схема ИИК диагностики и управления электроснабжения железной дороги

Предлагаемая многоступенчатая ИИК (рис. 1) предназначена для технического контроля, диагностирования и мониторинга и состоит из трех ступеней. В состав первой ступени ИИК входит аппаратура, установленная в основном на опорах и смонтированная в оборудовании тяговой подстанции (ТП) и контактной сети (КС).

Вторая ступень ИИК состоит из пунктов сбора информации, автоматизированных систем контроля и управления (АСКУЭ), автоматизированной системы диагностирования и мониторинга тяговых трансформаторов и установок контактной сети, а также системы телемеханики, связи и СКАДА.

В состав третьей ступени ИИК входит система оперативно-диспетчерского управления, автоматизированная система управления производственного – хозяйственной деятельностью, а также средства и система передачи данных в управление «Ўзбекистан темир йўллари».

Первичная обработка (ПО) измеряемых данных осуществляется в реальном масштабе времени с использованием методов повышения достоверности, в простейшем способе многократного повторения сообщений и с применением микропроцессорных модулей в соответствии с параметрами применяемых диагностических и управляемых величин [4].

С устройства ПО поток цифровых отсчетов $\mathcal{V}_{ir}(O)$, $\mathcal{V}_{ir}(T)$, $\mathcal{V}_{ir}(2T)\ldots$ поступает на вход устройства цифровой обработки (ЦО), построенных на композиционных микропроцессорных модулях. Здесь $T_{min} = T_{ir}$ – время цикла (периода) дискретизации для поступающих информационных сообщений; Т – период потоков цифровых отсчетов, Tmin – минимально допустимое значение. При этом необходимо указать, что темп первичной обработки информации должен соответствовать периоду дискретизации $T_{ir}^{*} \leq T_{ir}$.

Рассмотрим способы и алгоритмы вычисления численных характеристик при статистической обработке измерительной информации процессорами ИИК тягового электроснабжения. В реальных условиях производственные, технологические, электродинамические помехи, вносимые датчиками и самой ИИК, влияют на результаты измерений или содержат определенную неопределенность.

Для сокращения влияния ошибок или уменьшения неопределенности в результатах измерений наиболее важных величин, в состав функциональной ИИК целесообразно ввести методы, алгоритмы и программы решения задач математической статистики, позволяющие представлять множество результатов измерения диагностических признаков технологических объектов в удобном для анализа и решения задач диагностирования и управления. Эти возможности позволяют выделить суще-

ственную информацию из множества данных, представляя её в виде сводных показателей диагностирования.

Одной из характерных особенностей тягового электроснабжения является необходимость вести статистическую обработку результатов измерений наиболее важных величин с достаточно высокой точностью и в реальном масштабе времени. Но вместе с тем, статистическая обработка измерений позволяет определить тенденции изменения отдельных величин, а именно: комплексное состояние технологических объектов. Например состояние тягового трансформатора участка высокоскоростного движения характеризуются результатами измерения значений ряда параметров диагностирования и управления (температуры и электрического состояния обмоток, коэффициента абсорбции и т.д.) [8].

Рассмотрим техническое состояние и диагностирование тяговых трансформаторов (ТТ), установленных на участке высокоскоростного движения с номерами ir, $i \in \overline{1,N}$; $r \in \alpha, n$. Пусть дан также список измеряемых параметров с номерами j, $j \in \overline{1,n}$. В рассматриваемом ИИК после дискретизации и квантования, образуется поток результатов измерений в виде последовательности цифровых сообщений. Далее производится циклический опрос с интервалом времени $T_{min}=T_{ir}=\Delta t$.

Каждая измеряемая величина j с целью повышения достоверности повторяется три раза, на интервале времени τ нумеруется от 1 до ζ. Для упрощения дальнейших описаний индексы i и r опустим. Тогда получаем ряд y_{j1}, y_{j2}, … , $y_{j\zeta}$, т.е. ряд y_{iq}, $q \in \overline{1,\zeta}$ – номер измерения параметра j на интервале времени τ. Практически измеряемый процесс y_{jq} является случайным.

Рассмотрим методику определения диагностических параметров и технического состояния ТТ тяговой подстанции, реализуемого ИИК, производящего измерение определяющих следующих величин:

U_{AB}, U_{BC} – напряжения на входе и выходе ТТ, В;

I_1, I_2 – токи на входе и выходе ТТ, кА;

t – температура на выходной обмотке;

P_1 и P_2 – активные мощности на входе и выходе ТТ.

Определяются ток обратной последовательности, величина и начальная фаза которого определяется выражениями [3]:

$$I_{\text{об}} = \frac{\sqrt{3}}{3U_{\text{ном}}} \cdot \sqrt{S_{AB}^2 + S_{BC}^2 - S_{AB} \cdot S_{BC}}; \qquad (7)$$

$$\varphi_{\text{об}} = arctg \frac{\sqrt{3}}{3} \frac{S_{AB}+S_{BC}}{S_{AB}-S_{BC}}. \qquad (8)$$

Сопротивление изоляции обмоток ТТ вводов, состояние магнитопровода, коэффициента абсорции R_{60}/R_{15}, электрическая нагрузка, действующая на температуру верхних слоев масла ТТ $t_{ном}$=35-390С и снижение соотношения R_{60}/R_{15}, до 1,3 Мом, являются определяющими для принятия решения об эксплуатации ТТ. Напряжения 3, 5, 7 гармоник обычно равны относительно первой гармоники U_5=6,7%; U_3=5,8%; и U_7=4,9%.

На перегрев обмоток и магнитопровода ТТ существенное влияние оказывает повышенная реактивная мощность Q и наличие высших гармоник в системе электроснабжения, вызываемого индуктивным характером и несимметрией тяговой нагрузки.

Основным фактором оценки технического состояния является также величина электрической нагрузки, определяемой массой и периодичностью проходящих железнодорожных составов [10].

Для описания и анализа функциональных зависимостей принимается, что по рассматриваемым ТТ наблюдается одномерные случайные процессы y_{jq}, $j \in \overline{1,n}$, $q \in \overline{1,\zeta}$. Для эффективного решения эксплуатационных задач в реальном масштабе времени примем, что вероятность распределения случайных величин напряжения ТТ y_{jq} $(q = const)$ подчиняется нормальному гауссовскому закону, что подтверждается наблюдениями за работой ТТ [8].

Известно, что количественными оценками случайных величин является математическое ожидание выходного напряжения u_j в интервале времени, значение среднее арифметическое всех u_j в интервале времени, дисперсия и корреляционная связь [8].

Для оценки математического ожидания $M[u_j]$ можно использовать среднюю арифметическую совокупность измеряемых напряжений в интервале времени τ:

$$\overline{u_j} = \frac{1}{\zeta}\sum_{j=1}^{\zeta} u_{jq} \ , \qquad (9)$$

где ζ – число измерений напряжений u_j на интервале τ.

В качестве рассеяния u_j примем дисперсию в виде:

$$S_{yi}^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{\zeta}(u_{jq} - u_i)^2 \ . \qquad (10)$$

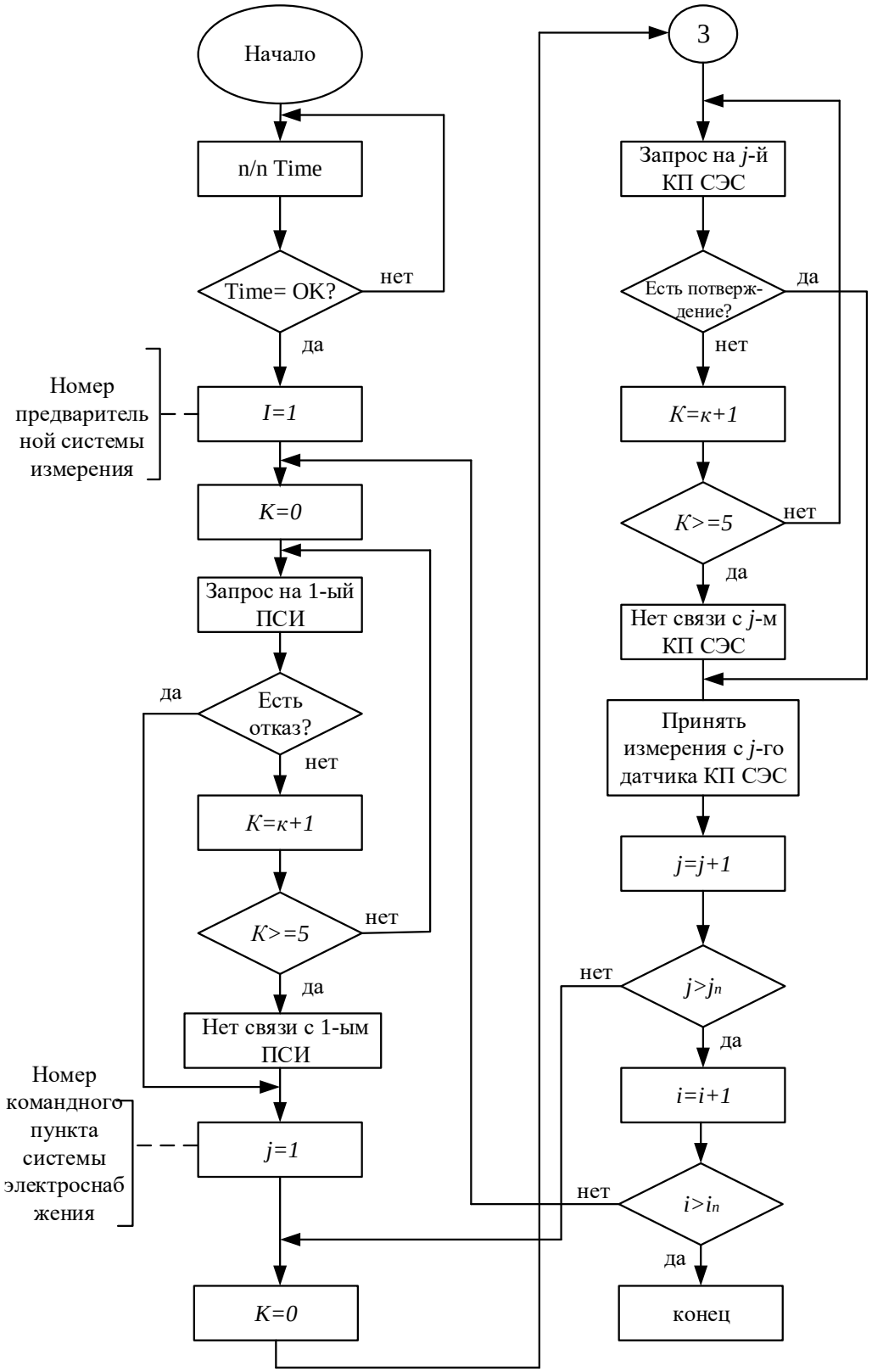


Рис. 2. Алгоритм контрольного опроса технического состояния и диагностирования установок контактной сети

Таким образом на временном отрезке τ, в течение которого выходное напряжение ТТ измерялось ζ раз, ИИК определяет и сохраняет четыре параметра: $\overline{u_j}$ – математическое ожидание; S_{yi}^2 – дисперсия, $u_{j\min}$ и $u_{j\max}$ на интервале τ.

Предлагаемый алгоритм опроса датчиков и вторичных преобразователей установленных на контактной сети приведен на рис. 2, где использованы следующие обозначения:

Номер опоры обозначается буквой $i(i=1,2,3,4...)$, номер датчика, установленный на опоре, обозначается буквой $j(j=1,2,3,4...)$.

Рассмотрим предлагаемый алгоритм опроса сигналов с целью осуществления диагностирования и мониторинга определенного участка контактной системы и обнаружение возникающих изменений в ее элементах в непрерывном автоматизируемом режиме.

Диагностируемыми параметрами являются: усилие натяжения и температура контактных проводов и несущих тросов, перемещение грузов компенсирующих устройств, углы наклона, величины отжатия на контактный провод [9]. При этом каждый датчик соединен проводной связью с близлежащим концентратором блока сбора и передачи информации, имеющее микропроцессорное устройство для первичной аналого-цифровой обработки.

На основании разработанных математических зависимостей и алгоритмов было реализовано программное обеспечение ИИК диагностирования и мониторинга объектов тягового электроснабжения, обеспечивающее автоматизацию процессов измерения, сбора, передачи, обработки информации в реальном масштабе времени.

Заключение. Эффективность работы системы тягового электроснабжения при высокоскоростном движении зависит от уровня интеграции и качественного измерения в информационно-измерительном комплексе для диагностирования и процесса мониторинга технического состояния электрооборудования. Предлагаемый ИИК представляет собой совокупность компонентов измерительных средств, математического, алгоритмического и программного обеспечения и принятие решения на всех уровнях управления системой тягового электроснабжения при высокоскоростном движении железнодорожного транспорта.

При разработке многоуровневых ИИК диагностирования, целесообразно их адаптировать к существующей структуре систем управления тяговым электроснабжением.

Библиографический список

1. Саввов, В. М. Обоснование параметров тягового электроснабжения и электроподвижного состава высокоскоростных железнодорожных линии в России / В. М. Саввов [автореферат диссертации к.т.н.]. – Текст : непосредственный. – Санкт-Петербург, 2008. – 45 с.

2. Саввов, В. М. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт / В. М. Саввов [и др.]. – Том 1. – Санкт-Петербург, 2001. – 320 с. – Текст : непосредственный.

3. Василянский, А. М. Совершенствование системы тягового электроснабжения железных дорог, электрифицированных на переменном токе 27,5 кВ, 50 Гц / А. М. Василянский, Р. Р. Мамошин, Г. Б. Якимов // Железные дороги мира. – № 8. – С. 40–46. – Текст : непосредственный.

4. Ефимов, А. В. Надежность и диагностики железных дорог / А. В. Ефимов, А. Г. Галкин. – Москва : Транспорт, 2016. – 326 с. – Текст : непосредственный.

5. Степанская, О. А. Особенности формирования нагрузок электротяговой сети скоростных линий железных дорог / О. А. Степанская [автореферат диссертации к.т.н.]. – Текст : непосредственный. – Санкт-Петербург, 2018.

6. Смирнов, Д. Б. Совершенствование методики расчета распределенной системы тягового электроснабжения / Д. Б. Смирнов [автореферат на соискание к.т.н.]. – Текст : непосредственный. – Омский государственный университет путей сообщения, 2010. – 35 с.

7. Амиров, С. Ф. Система непрерывного дистанционного диагностирования контактной сети с возобновляемым источником энергии : Доклады АН Республики Узбекистан / С. Ф. Амиров, М. С. Якубов, И. А. Каримов. – 2021. – № 2. – С. 99–104. – Текст : непосредственный.

8. Якубов, М. С. Диагностика твердой изоляции трансформаторов по информационной оценке косвенных показателей / М. С. Якубов, К. Х. Турдибеков, А. Х. Суллиев // Известия Транссиба : научно-технический журнал ОМГУПС. – Омск, 2020. – № 2(42). – С. 97–102. – Текст : непосредственный.

9. Ефанов, Д. В. Система и способ непрерывного мониторинга состояния контактной сети. Патент на изобретение № 2701887.RU / Д. В. Ефанов [и др.]. – Текст : непосредственный.

10. Amirov, S. Resource-saving maintenance and repair of the Traction transformer based on its diagnostics / S. Amirov, M. Yakubov, K. Turdibekov, A. Sulliev // International Journal of Advanced Science and Technology. –Vol. 29. – No. 5 (2020). – Pp. 1500–1504. – Текст : непосредственный.

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

Н.В. Власова, В.А. Оленцевич
Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО БИЗНЕС-БЛОКА ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСА УСЛУГ

В рамках представленной статьи предлагается решение задачи, направленной на повышение уровня предоставления транспортно-экспедиционных услуг. Для реализации поставленной задачи – успешного функционирования холдинга ОАО «РЖД» авторами разработана схема транспортно-логистического бизнес-блока взаимодействия всех структурных и подразделений дочерних и зависимых обществ ОАО «РЖД», действующих на полигоне железной дороги и взаимодействующих с Центром продажи услуг по продвижению и продаже комплексных услуг. Рассмотрены основные направления в совершенствовании транспортно-логистического бизнес-блока и предложен комплекс механизмов поддержки и развития железнодорожных контейнерных перевозок на примере перегруза целлюлозы ООО «Финтранс ГЛ».

Ключевые слова: бизнес-единица, транспортно-логистический блок, услуги, грузоотправитель, клиент, контейнерный поезд, тарифная политика, грузовая перевозка, контейнерная площадка.

В период мирового кризиса основной задачей любой организации является модернизация бизнес-процессов. Современность данного исследования возникает в результате своевременного и успешного развития в российской и мировой экономике, ставящих перед Холдингом «РЖД» актуальные цели и задачи, решение которых должно внести благоприятное участие в ускорение социально-экономической эволюции нашего региона, а также обеспечить устойчивую перспективу Холдинга и повышение его масштабной конкурентоспособности, что, в свою очередь, должно привести к приросту стоимости бизнеса [1].

Во исполнение поручений протокола итогового заседания Правления ОАО «РЖД» от 19.02.2022 г. № 9 «Об итогах работы ОАО «РЖД»

за 2021 год и приоритетных задачах на 2022 год» для повышения уровня лояльности и уровня удовлетворённости клиентов на Восточно-Сибирской железной дороге создан комитет по работе с потребителями транспортно-логистических услуг в сфере грузовых перевозок территориальной эффективной комиссии по организации взаимодействия дороги со смежными подразделениями функциональных филиалов, структурными подразделениями, дочерними и зависимыми обществами ОАО «РЖД», расположенными в границах дороги [3]. Для успешного функционирования холдинга ОАО «РЖД» авторами предложена схема транспортно-логистического бизнес блока (рис. 1).

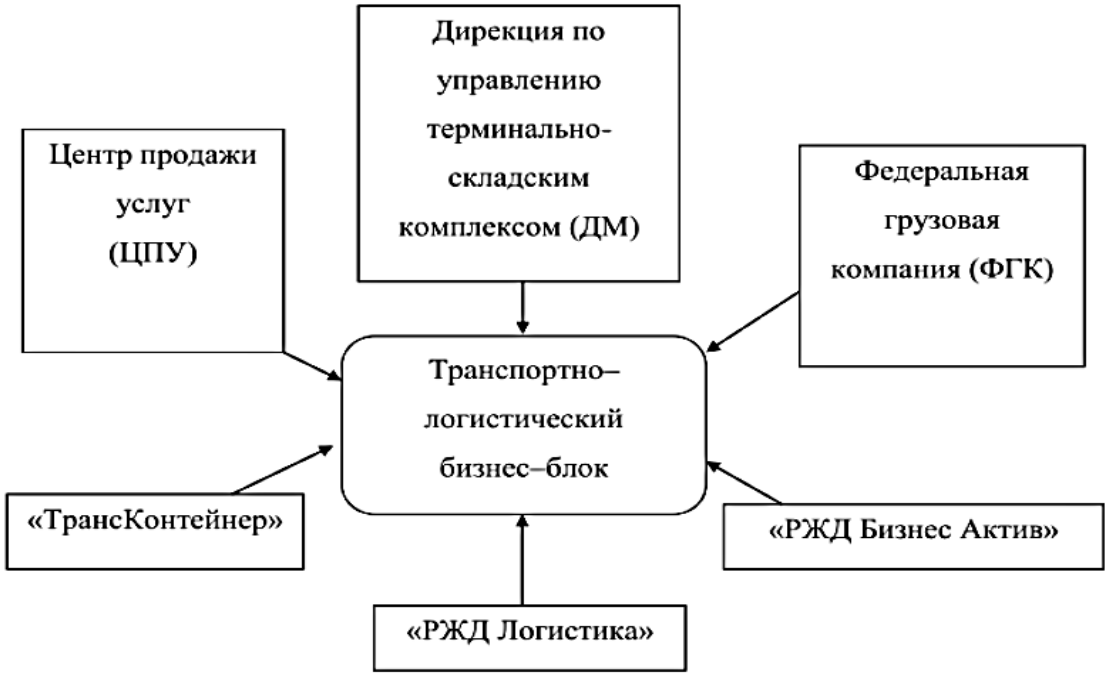


Рис. 1. Бизнес-единицы, входящие в транспортно-логистический бизнес-блок

В состав транспортно-логистического бизнес-блока входят следующие бизнес-единицы:

1. Центр продажи услуг (далее – ЦПУ) представляет собой комплекс тесно взаимодействующих между собой технологических, административных, системных и функциональных подсистем единого транспортного комплекса, объединённые в единую систему для реализации всего спектра транспортных услуг копании ОАО «РЖД», предоставляемых на полигоне железной дороги по принципу «одного окна». Данный принцип позволяет относить все вопросы взаимодействия и обслуживания клиентов ОАО «РЖД» при осуществлении перевозок грузов и удо-

влетворении внешнего спроса на транспортное обслуживание к компетенции головного заказчика – ЦФТО ОАО «РЖД» и подразделений СФТО на железных дорогах.

Рост бизнеса, оживлённые продажи, клиентоориентированность представляют собой важные критерии в решении вопроса увеличении доли холдинга ОАО «РЖД» на рынке транспортно-логистических и транспортно-экспедиционных услуг. Активные продажи – процесс, который организуется координатором ЦПУ и осуществляется работником ЦПУ, управляющим всем циклом от поиска клиента до обеспечения заключения договора с ним.

2. Центральная дирекция по управлению терминально-складским комплексом (далее – ЦМ). В её обязанности входит предоставление клиентам железнодорожного транспорта полного комплекса транспортно-экспедиционных и услуг по хранению груза на открытых, закрытых площадках, а также в крытых складах, погрузочно-выгрузочные работы; услуги, оказываемые по доверенности клиента, таможенное оформление импортных и экспортных грузов, выполнения эскизов и схем размещения и крепления грузов на открытом и в крытом подвижном составе; услуги, связанные с пропаркой и промывкой вагонов, фур, а также предоставление в аренду объектов недвижимого имущества [3].

3. Акционерное общество «РЖД Логистика» – крупнейший оператор в мультимодальном и логистическом транспортном секторе на территории СНГ и стран Балтии. Созданный с целью реализации логистического направления.

Организация является одним из лидеров на российском рынке логистического аутсорсинга для индустриальных предприятий, предоставляющим комплексное обслуживание по управлению цепями поставок.

4. АО «РЖД Бизнес Актив» создан на основании решения Совета директоров АО «РЖД Логистика». Миссия компании – повышение объемов контейнерных перевозок путем развития контейнеризации грузов, построение новых логистических цепочек, оказание услуг по организации мультимодальных контейнерных перевозок с предоставлением высокого уровня сервиса на рынке в интересах своих клиентов.

5. ПАО «ТрансКонтейнер» – российский интермодальный контейнерный оператор, имеющий в своей структуре большой парк различных видов контейнеров и специализированных платформ.

6. АО «Федеральная грузовая компания» (далее – АО «ФГК») признана одним из крупнейших грузовых железнодорожных операторов в России, АО «ФГК» выполняет обширный вид услуг по перевозкам грузов железнодорожным транспортом.

В качестве основных направлений в совершенствовании транспортно-логистического бизнес-блока можно выделить:

– эффективную организацию работы с пользователями транспортных услуг, у которых наблюдается радикальное наращивание объемов погрузки или присутствует размер производства, перевозка которого выполняется другими видами транспорта;

– координацию взаимодействия с портами;

– качественное предоставление транспортных услуг, сокращение сроков доставки грузов для различных видов отправок, преимущественное формирование маршрутных отправок, расширение пользователей услугой перевозок согласно установленного расписания, увеличение числа отправок «в срок» и «от двери до двери»;

– расширение спектра специализированных услуг с целью увеличения доли высокодоходных грузов и транзитных грузопотоков в суммарном грузопотоке;

– с целью эффективного взаимодействия с крупнейшими клиентами заключение договоров перевозок на перспективу, реализация совместно с данными клиентами решений, направленных на повышение эффективности имеющегося грузопотока, минимизации грузоемкости технологических процессов и производств, оптимизация порожних вагонопотоков;

– повышение уровня коммерческих взаимоотношений с прочими участниками транспортного процесса – предприятиями индустриального железнодорожного транспорта, собственниками подвижного состава, специализированными транспортными подразделениями крупнейших и весомых грузоотправителей;

– совершенствование системы реализации грузоперевозок, внедрение электронных видов услуг и возможностей для дистанционных продаж и взаимодействия со сбытовыми подразделениями Холдинга РЖД;

– оптимизация тарифного подхода, взаимодействие с органами власти по вопросам пересмотра действующего прейскуранта на оказание услуг по грузовым перевозкам, применение гибкой тарифной политики, совершенствование цен на транспортные услуги в высококонкурентных сегментах рынка [4, 9].

С целью обеспечения лидирующих позиций по грузовым направлениям перевозок транспортному бизнес-блоку целесообразно обеспечить прирост не только перевозок грузов, но и применять новые транспортные продукты в логистической области. Данные факторы позволяют сформировать для транспортно-логистического бизнес блока ряд первостепенных целей:

– обеспечение прироста уровня клиентоориентированности холдинга в сфере перевозок грузов;

– расширение доли высокомаржинальных грузов при развивающемся спросе на массовые грузы;

– заключение договоров и соглашений с потребителями транспортной продукции на долгосрочную перспективу;

– повышение качества обратной связи с грузоотправителями и грузополучателями;

– увеличение уровня взаимодействия с рынком транспортной продукции и расширение бизнеса в либерализированном секторе при условии высокоэффективного предоставлении услуг;

– эволюция логистических возможностей для удовлетворения потребностей клиентов в комплексных услугах, в том числе, в глобальных транспортных цепочках;

– прирост к 2030 году объема транзитных грузовых перевозок;

– разработка и широкое применение новых продуктов и услуг в сфере грузовых перевозок;

– прирост размера прибыли с целью развития перевозочного и логистического бизнеса и инфраструктуры структурных подразделений холдинга;

– сокращение всех видов рисков, направленных на прирост волатильности международных рынков сырьевых ресурсов и нестабильности потоков грузов на экспорт [2, 7].

Важные направления функционирования подразделений транспортно-логистического бизнес-блока ОАО «РЖД», а также их направления развития, указанные в стратегических документах на период до 2025 года:

– основные услуги железнодорожной перевозки грузов (в том числе с опциями);

– оперирование контейнерами;

– контрейлерные перевозки;

– оперирование грузовыми вагонами;

– оперирование локомотивной тягой;

– транспортных и экспедиционных услуги;

– управление цепями поставок;

– логистический консалтинг;

– логистический аутсорсинг (внутрипроизводственная логистика);

– таможенное оформление, совершение таможенных операций при осуществили международных перевозок;

– автомобильные перевозки;
– перевозка товаров и грузобагажа багажными вагонами;
– морские, речные перевозки;
– авиаперевозки;
– терминально-складские услуги;
– стивидорные услуги [5, 6].

Следует отметить, что выполнение безотказного и единого взаимодействия всех участников бизнес-блока значительно расширяет возможности транспортной индустрии в сфере железнодорожных перевозок особенно при применении контейнерной и контрейлерной логистики.

В рамках данного исследования предложен ряд мер, направленных на поддержку и планомерное развития контейнерных перевозок на примере крупного грузоотправителя ООО «Финтранс ГЛ» – перегруз целлюлозы из крытых вагонов в 40-футовые контейнеры и формирование на грузовом дворе станции Тайшет ускоренного контейнерного поезда силами АО «РЖД Бизнес Актив» и дальнейшее отправление контейнерных поездов в КНР через следующие пограничные пункты:

– железнодорожную станцию Наушки Восточно-Сибирской железной дороги;
– железнодорожную станцию Забайкальск Забайкальской железной дороги;
– железнодорожную станцию Локоть Западно-Сибирской железной дороги;
– порт Находка Дальневосточной железной дороги в непрямом международно-водном сообщении [7, 8].

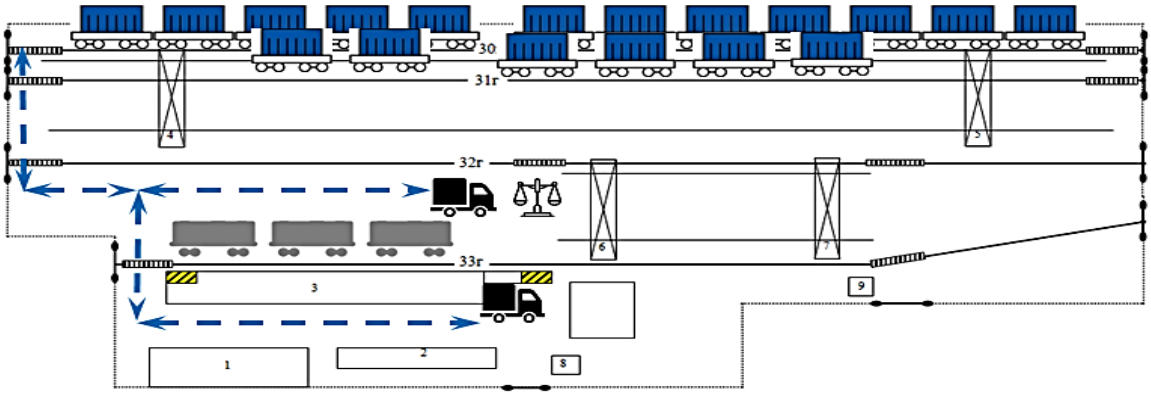
Проект Бизнес-единицы по перегрузке целлюлозы из крытых вагонов в контейнера для ООО «Финтранс ГЛ» на станции Тайшет приведен на рис. 2.

Контейнерная площадка для крупнотоннажных контейнеров общей площадью 9900 кв. м на грузовом дворе станции Тайшет передана дирекции по управлению терминально-складским пользованием в долгосрочную аренду по соответствующему договору для хранения контейнеров АО «РЖД Бизнес Актив».

Восточно-Сибирская дирекция по управлению терминально-складским комплексом сможет оказывать на грузовом дворе следующие виды услуг:

– выгрузка порожних контейнеров на площадку;
– погрузка порожнего контейнеров на автомобиль;
– выгрузка груза из крытого вагона в контейнер;
– взвешивание контейнера на автомобильных весах;

– выгрузка груженного контейнера на площадку;
– погрузка груженных контейнеров на платформы;
– формирование контейнерного поезда;
– предоставление услуги мастера погрузки;
– наложение, снятие, предоставление запорно-пломбировочного устройства [10].



Условные обозначения:

31г	Железнодорожные пути	6,7	Козловой кран КК-6,3, зав.№1185 рег.№ 9059; зав.№1196 рег.№ 9058
	Подкрановые пути	8,9	КПП 1, КПП 2
	Въездные Выездные ворота		
	Автомобильный переезд		
	Негабаритное место		
1	АБК		
2	Производственное здание		
3	Теплый склад		
4	Козловой кран МККС-42К, зав.№187рег.№А67-00616001пс		
5	Козловой кран КК-12,5, зав.№643 рег.№ 90		

Рис. 2. Проект Бизнес единицы по перегрузке целлюлозы из крытых вагонов в крупнотоннажные контейнеры для ООО «Финтранс ГЛ» на станции Тайшет

Данный проект позволит выйти на новый уровень бизнес блока в области железнодорожных перевозок, повысить доходы Восточно-Сибирской дирекции по управлению терминально-складским комплексом от предоставляемых услуг и формировать контейнерные поезда.

Библиографический список

1. Перевозочный и логистический бизнес-блок – Задачи по бизнес-блокам. – Стратегия развития. – URL : http://mirror.ar2013rzd.3ebra.com/ru/development_strategy/objectives/transportation-and-logistics. – Текст : электронный.

2. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения). – http://doc.rzd.ru. – Текст : электронный.

3. Восточно-Сибирская дирекция по управлению терминально-складским комплексом | Структура | Компания. – URL : https://company.rzd.ru/ru/9349/page/105554?id=2242#5808. – Текст : электронный.

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

5. Власова, Н. В. Необходимость разработки новых проектных решений по реконструкции контейнерных терминалов в современных условиях / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : сборник трудов научно-практической конференции с международным участием. – Москва, 2022. – С. 96–104. – Текст : непосредственный.

6. Власова, Н. В. Инновационные подходы к оценке погрузочно-разгрузочных операций на местах общего пользования (на примере восточного полигона железных дорог) / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич // Постсоветский материк. – 2022. – № 3(35). – С. 65–75. – Текст : непосредственный.

7. Власова, Н. В. Этапы формирования маркетинговой стратегии управления терминально-складским комплексом ОАО «Российские железные дороги» с целью достижения максимальных результатов продвижения транспортных услуг и привлечения клиентов / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 2(74). – С. 163–174. – Текст : непосредственный.

8. Власова, Н. В. Новые подходы к организации оценки работы в местах общего пользования / Н. В. Власова // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2022. – № 9. – С. 157–158. – Текст : непосредственный.

9. Перфильева, П. В. Инновационные методы и логистические подходы к организации грузовой и коммерческой деятельности Восточно-Сибирской дирекции по управлению терминально-складским комплексом / П. В. Перфильева, А. С. Кашкарев, Н. В. Власова // Наука молодых – будущее России : сборник научных статей 6-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. – Курск. – 2021. – Том 5. – С. 146–149. – Текст : непосредственный.

10. Власова, Н. В. Комплекс мероприятий, направленных на привлечение дополнительных объемов перевозок, перевозимых в крупнотоннажных контейнерах и повышение качества обслуживания клиентов при увеличении скорости перевозки грузов / Н. В. Власова, Е. И. Игнатьева, К. Е. Гордеев // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 3(13). – С. 134–139. – Текст : непосредственный.

Г.Д. Гефан
Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ОРГАНИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

При подготовке специалистов по организации железнодорожного сообщения все большее распространение получают сложные экономико-математические методы. Цель данной работы – разработать эффективную методику математической подготовки будущих специалистов железнодорожного транспорта на основе активных методов обучения. В статье рассматривается применение вероятностно-статистических методов к решению проблем при проектировании железнодорожных перевозок. На примере потока прибывающих поездов показана технология проверки гипотез о том, что время между прибытием поездов распределено по показательному закону, и о независимости событий в потоке. При подтверждении каждой из этих гипотез должен быть сделан вывод о том, что поток прибывающих на станцию поездов является простейшим (пуассоновским). Этот вывод позволяет для описания случайного процесса пользоваться аппаратом цепей Маркова.

Ключевые слова: вероятность, пуассоновский поток прибывающих поездов, показательное распределение, статистические гипотезы, активное обучение, деловая игра.

Введение. Математические и вероятностные модели используются в разнообразных задачах, связанных с функционированием транспорта (например, [1, 2]). Роль вероятностных методов при проектировании и анализе работы железнодорожного сообщения определяется прежде всего тем, что эти методы являются эффективным инструментом для минимизации затрат и обеспечения бесперебойности движения. При этом ис-

пользуется понятие густоты движения на линии или в транспортном узле [3], описывая которую, обычно пользуются средними величинами: среднее количество транспортных единиц, средний интервал времени, среднее расстояние и т.д. Недостатком такого подхода является то, что он не учитывает стохастические колебания густоты движения.

В настоящей статье рассматривается применение вероятностно-статистических методов к проблемам, возникающим при проектировании железнодорожных перевозок: колебания загрузки железнодорожных станций, распределение интервала времени между прибытием поездов и т.п. Первые работы в области применения теории вероятностей для решения проблем железнодорожного движения появились ещё до Второй мировой войны, а в 1960-е годы были опубликованы монографии [4, 5], охватывающие многие вопросы математической теории транспортных потоков. Затем в русском переводе появились книги немецких и польских авторов [6, 3].

Повысить эффективность подготовки специалистов железнодорожного транспорта можно, если: (1) при изучении теории вероятностей и математической статистики рассматривать специфические железнодорожные задачи; (2) применять активные методы обучения. Это определяет новизну и основную цель исследования – разработать эффективную методику математической подготовки будущих специалистов железнодорожного транспорта на основе активных методов обучения (деловых игр).

Согласно теории контекстного обучения А.А. Вербицкого [7], применение активных методов обучения должно соответствовать будущим профессиональным задачам и функциям обучаемого, служебным и должностным взаимодействиям. В частности, при организации деловых игр должно иметь место «моделирование процесса деятельности руководящих работников и специалистов предприятий и организаций по выработке управленческих решений» [8]. Однако решить такую задачу при обучении математике значительно труднее, чем в преподавании профессиональных дисциплин. Поэтому в сравнении с количеством попыток применения деловых игр в экономике, управлении, инженерных дисциплинах, военном деле, работы по использованию деловых игр в математике малочисленны [9, 10].

Разработчик деловой игры создаёт две модели: имитационную и игровую. Первая отражает реальность, с которой придётся иметь дело будущему специалисту. Вторая модель представляет собой алгоритм действий участников игры.

Метод исследования. Имитационная вероятностная модель. Рассмотрим кратко сущность вероятностной методологии применительно к понятию густоты движения. Одно из важнейших понятий теории вероятностей и теории случайных процессов, связанное, в частности, с работой транспорта – поток событий. Его можно рассматривать как последовательность моментов наступления этих событий: t_1, ..., t_i, ... Например, это могут быть моменты прибытия поездов на станцию. Обычно считают, что одновременное наступление событий практически невозможно (тогда поток событий называется ординарным). Требование стационарности потока состоит в том, что вероятность наступления события в течение некоторого промежутка времени зависит только от продолжительности этого промежутка. Поэтому, зная, что событие должно наступить в течение промежутка времени длительностью τ, мы можем считать, что вероятность наступления этого события за время t ($0 < t < \tau$) равна $p(t) = t/\tau$. Если же за время τ на станцию достоверно прибывает каждый из имеющихся n поездов, то вероятность того, что за время t на станцию прибудет k поездов ($0 \le k \le n$), подчиняется биномиальному распределению и определяется формулой Бернулли [11]:

$$p_k(t) = C_n^k \left(t/\tau\right)^k \left(1 - t/\tau\right)^{n-k} \ . \qquad (1)$$

Однако биномиальное распределение числа событий в промежутке времени весьма неудобно для применения. Это распределение (1) с двумя параметрами (n и t/τ). При большом числе прибывающих поездов и малой вероятности наступления событий в пределах времени t (теоретически при $n \to \infty$ и $t/\tau \to 0$, но практически при $n > 40$ и $t/\tau < 0.1$ [3]) можно пользоваться распределением Пуассона [11]). При этом $0 < nt/\tau \equiv \lambda t < \infty$. Здесь величина $\lambda = n/\tau$ есть интенсивность потока (среднее число поездов, прибывающих в единицу времени), а величина λt – среднее число прибывающих поездов на временном промежутке длительностью t. Распределение Пуассона (с одним параметром λt) имеет вид [11]

$$p_k(t) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}, \quad k = 0, 1, \ \ldots \qquad (2)$$

Для использования аналитических методов в теории массового обслуживания необходимо проверить гипотезу о потоке заявок Пуассона. Иначе говоря, требуется подтвердить соответствие эмпирических дан-

ных предположению о так называемом простейшем потоке событий, который обладает тремя свойствами. О первых двух свойствах – ординарности и стационарности – уже сказано выше. Третье свойство – это отсутствие последействия, по сути, означающее независимость поступающих заявок друг от друга.

Интервал времени между наступлениями двух событий в пуассоновском потоке описывается случайной величиной T, которая имеет функцию распределения

$$F(t) = P(T < t) = 1 - p_0(t) = 1 - e^{-\lambda t}\ ,\ t > 0, \qquad (3)$$

и плотность распределения вероятностей $f(t) = F'(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t > 0$.

Поэтому для проверки предположения о простейшем потоке событий следует выдвинуть и подтвердить гипотезу о показательном распределении времени между событиями. В этом случае время между событиями имеет математическое ожидание $M(T) = 1/\lambda$, (λ – интенсивность потока), а вероятность того, что случайная величина попадёт в интервал (a, b) равна $P(a < T < b) = e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}$. Поэтому статистической оценкой параметра λ будет величина, обратная выборочной средней $\lambda^* = 1/\bar{t}$, а теоретическую частоту попадания в интервал номер i следует вычислять по формуле

$$n_i' = n\left(e^{-\lambda^* t_{i-1/2}} - e^{-\lambda^* t_{i+1/2}}\right). \qquad (4)$$

После этого проверяется гипотеза о показательном распределении с помощью критерия Пирсона. Кроме этого требуется, чтобы все промежутки времени между событиями представляли собой независимые случайные величины. Опишем необходимую процедуру [3]. Вся область значений случайной величины T (см. выше) разбивается на частичные интервалы, и определяются частоты этих интервалов. Вероятность того, что промежуток времени между прибытием предыдущего поезда и данного поезда попадает в частичный интервал с номером i, оценивается как $p_i^* = n_i / n$. Вероятность того, что промежуток между прибытием данного поезда и следующего поезда попадает в частичный интервал с номером j, оценивается как $p_j^* = n_j / n$. Эмпирическая частота n_{ij} определяет оценку вероятности перехода от интервала i к интервалу j:

$p_{ij}^{*} = n_{ij}/n$. В то же время «теоретически» эта вероятность (как вероятность произведения независимых событий) должна быть равна $p_{ij} = p_i p_j$. Таким образом, близость эмпирических и теоретических частот будет свидетельствовать о независимости событий в потоке. Сопоставление эмпирических и теоретических частот в этом случае также может быть выполнено с помощью критерия Пирсона.

Ниже рассмотрено решение двух проблем, связанных с применением вероятностно-статистических методов в проектировании железнодорожных перевозок.

1. Известно, что на станцию прибывает простейший поток поездов со средней интенсивностью $\lambda = n/\tau$ поездов в час. Вероятности прихода k поездов за один час распределены по закону Пуассона. Требуется принять решение о необходимости строительства дополнительных приёмо-отправочных путей в соответствии с некоторым практически важным критерием.

2. За время $\tau = 1440$ мин, т.е. за одни сутки, на станцию приходит n поездов. Известны промежутки времени между последовательными моментами прибытия. Введя частичные интервалы (длиной в несколько минут), требуется убедиться, что поток поездов является пуассоновским.

Используя сгруппированные данные, оцениваем среднее время между прибытием поездов как $\bar{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k} t_i n_i$, где k – число частичных интервалов (порядка 20), n_i – эмпирические частоты, а в качестве вариантов t_i берутся середины интервалов. После этого находится оценка средней интенсивности $\lambda^{*} = 1/\bar{t}$. Далее для каждого интервала вычисляется теоретическая частота (4). Значение критерия Пирсона $\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - n_i')^2}{n_i'}$ сравнивается с критической точкой $\chi^2_{cr}(\alpha, k-2)$ (α – уровень значимости гипотезы, $k-2$ – число степеней свободы). Если $\chi^2 < \chi^2_{cr}$, то гипотеза принимается: время между прибытием поездов распределено по показательному закону.

Для проверки второй гипотезы задаём укрупнённые частичные интервалы так, чтобы частоты попадания в них не были малыми. Далее определяем теоретические частоты $n_{ij}' = n_i n_j / n$ и эмпирические частоты n_{ij}. Наблюдаемое значение критерия χ^2 необходимо сравнить с критической точкой. Число степеней свободы здесь – это число независи-

мых друг от друга частот n_{ij} (из общего количества частот вычитаем число жёстких связей). Если $\chi^2 < \chi^2_{cr}$, то гипотеза о независимости событий в потоке принимается.

Рекомендации по практическому применению и заключение. Рекомендуемое использование приведённого исследования в первую очередь связано с совершенствованием методов математической подготовки будущих специалистов железнодорожного транспорта. Данные материалы могут быть использованы для разработки деловых игр и других методик контекстного обучения. Предпочтительным является способ деления студентов на команды. За несколько недель до начала игры формируются ровные по составу команды. В каждой команде должен быть лидер (капитан). В ходе изучения специального пособия [12], лидеры должны определить функции каждого игрока своих команд. Исходные данные, получаемые командами, должны быть обработаны за установленное время. По окончании игры команды оформляют протоколы. За этим следует сопоставление результатов, анализ ошибок и оценивание работы команд.

Результаты педагогических экспериментов [13] показывают, что деловые игры в транспортном вузе по вероятностно-статистической тематике существенно улучшают качество обучения. Это подтверждается результатами контрольных мероприятий. Кроме того, польза от деловых игр состоит в быстром приобретении практического опыта коллективной работы.

Библиографический список

1. Repolho, H. M. Optimal Location of Railway Stations: The Lisbon-Porto / H. M. Repolho, A. P. Antunes, R. L. Church // High-Speed Rail Line Transportation Science. – 2013. – 47. – P. 330–343. – Текст : непосредственный.

2. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А. В. Гасников [и др.]. – Москва : Издательство МЦНМО, 2013. – 428 с. – Текст : непосредственный.

3. Венгерский, Е. Вероятностные методы в проектировании транспорта / Е. Венгерский. – Москва : Транспорт, 1979. – 316 с. – Текст : непосредственный.

4. Хейт, Ф. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. – Москва : Мир, 1966. – 288 с. – Текст : непосредственный.

5. Ashton, W. The theory of road traffic flow. London-New York: Methuen, 1966. – 178 p. – Текст : непосредственный.

6. Поттгофф, Г. Учение о транспортных потоках / Г. Поттгофф. – Москва : Транспорт, 1975. – 344 с. – Текст : непосредственный.

7. Вербицкий, А. А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход : методическое пособие / А. А. Вербицкий. – Москва : Высшая школа, 1991. – 207 с. – Текст : непосредственный.

8. Бельчиков, Я. М. Деловые игры / Я. М. Бельчиков, М. М. Бирштейн. – Рига : Авотс, 1989. – 304 с. – Текст : непосредственный.

9. Сахарова, О. Н. Методика организации деловых игр по математике / О. Н. Сахарова // Вестник высшей школы. − 2008. − № 7. − С. 38–44. – Текст : непосредственный.

10. Суханов, М. Б. Деловые игры с математическим моделированием как средство формирования профессиональной компетентности студентов экономического профиля / М. Б. Суханов // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. − 2012. − № 3. − С. 195–202. – Текст : непосредственный.

11. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – Москва : Наука, 1969. – 576 с. – Текст : непосредственный.

12. Гефан, Г. Д. Вероятностно-статистические методы на примере задач исследования работы железнодорожного транспорта : методическое пособие для проведения деловых игр / Г. Д. Гефан. – Иркутск : ИрГУПС, 2015. − 32 с. – Текст : непосредственный.

13. Гефан, Г. Д. Сравнительный анализ эффективности образовательных методик на примере обучения теории вероятностей и математической статистике / Г. Д. Гефан, О. В. Кузьмин // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2017. – № 4 (181). – С. 49–56. – Текст : непосредственный.

А.Д. Доможирова, Р.Ю. Упырь
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ГРУЗОПОТОКА НА УЧАСТКЕ КУРСИРОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ МАРШРУТНЫХ ПОЕЗДОВ

Прогнозирование играет важную роль в организации продвижения поездопотоков. От качества прогноза зависит эффективность применения своевременных мер по корректировке графика движения поездов, организации погрузочно-разгрузочных работ, осуществлении действий,

поддерживающих исправное состояние технических средств, и многое другое, что может минимизировать потери при возникновении отказов, сбоев и срывах перевозочного процесса. А также выстроить параметры систем перевозочного процесса в соответствии с ожидаемыми объемами работ и нагрузок.

В статье рассмотрены два метода для прогнозирования значений величины грузопотока на участке обращения кольцевых маршрутных поездов: нейронная искусственная сеть и регрессионная модель. На основе результатов достоверности аппроксимации выбран наиболее точный метод.

Ключевые слова: прогнозирование, кольцевой маршрутный поезд, грузопоток, искусственная нейронная сеть, регрессионная модель.

Кольцевые маршрутные поезда – поезда, проходящие не менее одной технической станции без обработки с постоянным составом от станции погрузки до станции выгрузки и обратно [1]. Как правило, за такими поездами закрепляются локомотивы, использующиеся для развоза порожних и груженых маршрутов в рамках участка. Время следования и продолжительность нахождения на станциях погрузки и выгрузки строго регламентированы за счет использования расписания. Такая система организации поездопотока экономически эффективна при стабильных объемах погрузки на станциях отправления груженого маршрута [2, 3].

Не всегда данная система работает стабильно, случаются отказы, сбои, технологические нарушения, которые приводят к ухудшению эксплуатационных показателей и росту экономических затрат. Именно поэтому важен вопрос прогнозирования состояний системы, за счет которого можно было бы принимать оперативные меры по корректировке графика движения поездов, организации погрузо-разгрузочной работы, профилактической работе с техническими устройствами и в целом возвращению параметров системы в исходное положение.

В данной работе в качестве предмета прогноза будет грузопоток участка, так как именно этот эксплуатационный показатель наиболее ярко отражает производительность работы участка курсирования кольцевых маршрутных поездов. Исходными данными для прогнозирования будет служить временной ряд величины грузопотока, состоящий из 211 наблюдений за 2021 год. В качестве инструментов прогнозирования выбраны искусственная нейронная сеть и регрессионная модель.

Для начала необходимо определить период наблюдений путем проведения спектрального одномерного анализа Фурье. В результате построена периодограмма с зависимостью спектральной плотности от пе-

риода наблюдений. Наибольшее значение спектральной плотности соответствует периоду наблюдений, который и будет использоваться в качестве числа входных слоев нейронной сети [4], для данного исследования – 10 (рис. 1).

С помощью программного пакета STATISTICA был произведен спектральный анализ и построены нейронные сети (см. Таблицу).

Архитектура нейронной сети с наибольшей производительностью представлена на рис. 2.

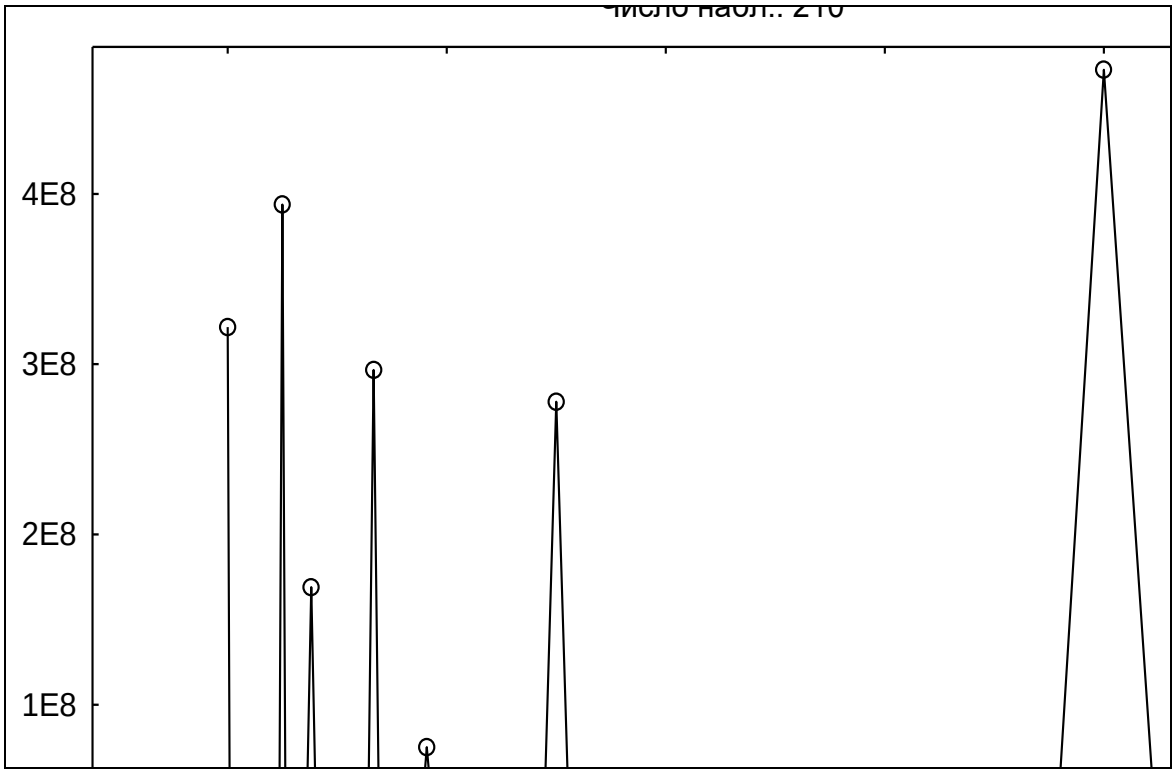


Рис. 1. Периодограмма колебаний грузопотока на участке

Таблица

Производительности построенных нейросетей

№	Нейросеть	Производительность
1	MLP 10-3-1	0,496694
2	MLP 10-4-1	0,501659
3	MLP 10-6-1	0,505815
4	MLP 10-2-1	0,710524
5	MLP 10-5-1	0,505347

Данная архитектура отражает структуру многослойного персептрона: 10 – число входных наблюдений, 2 – число скрытых слоев, 1 – число выходных данных.

Полученные нейросети имеют значения производительности от 49% до 72%, то есть прогнозируемые значения грузопотока могут совпасть с фактическими с вероятностями равными их производительности.

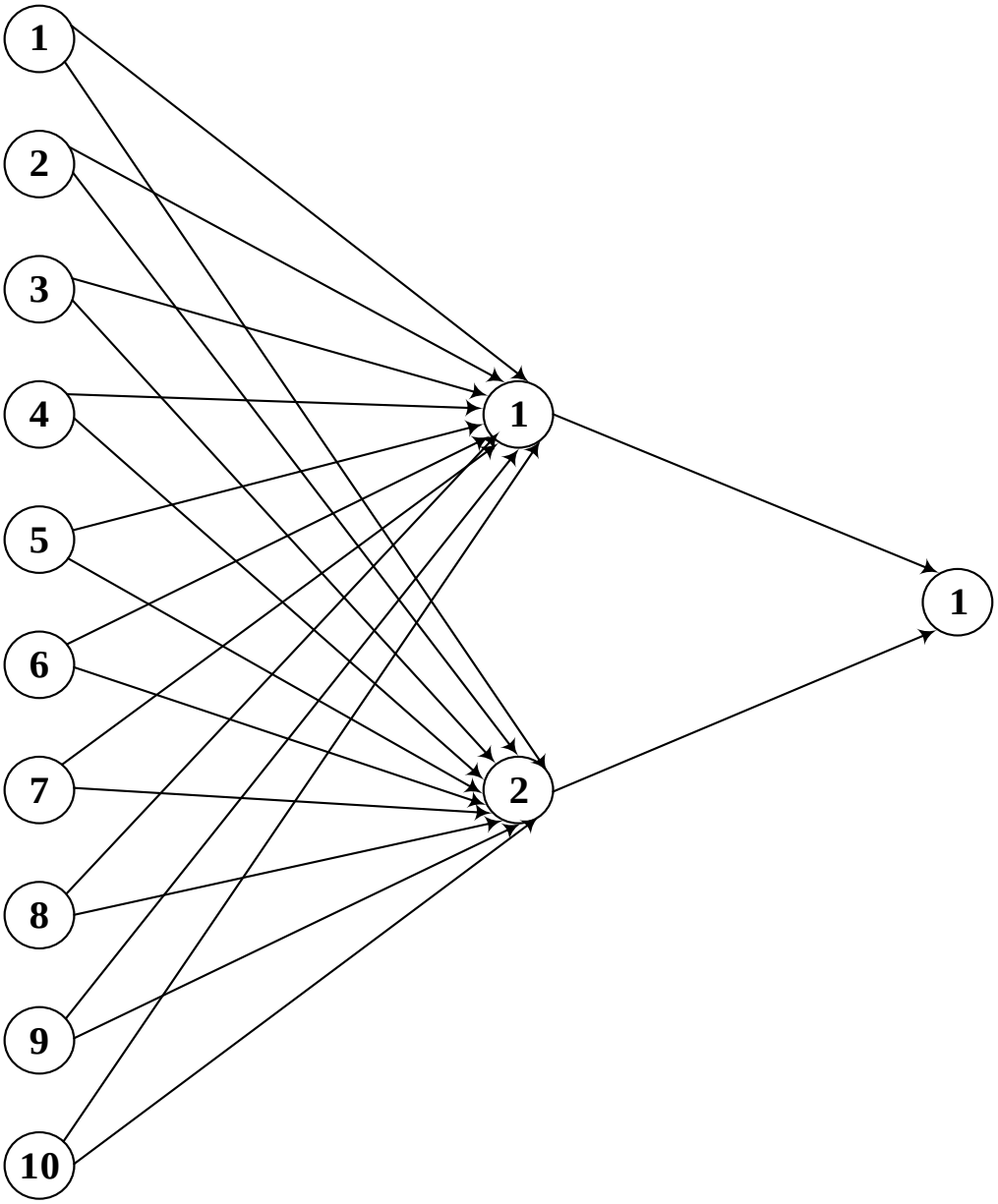


Рис. 2. Архитектура нейросети, описывающей структуру вида 10-2-1

Вторым способом получения прогнозных данных было выбрано построение регрессионной модели. С помощью программного комплекса Microsoft Excel получена полиномиальная регрессионная модель 6 степени [5], изображенная пунктирной кривой линией на рис. 3.

Уравнение регрессионной модели имеет следующий вид (1):

$$y = -2E\text{-}08x^6 + 1E\text{-}05x^5 - 0{,}0032x^4 + 0{,}3062x^3 - 10{,}721x^2 + 25{,}484x + 8233{,}7 \quad (1)$$

Достоверность коэффициента аппроксимации которой составил $R^2 = 0{,}1484$

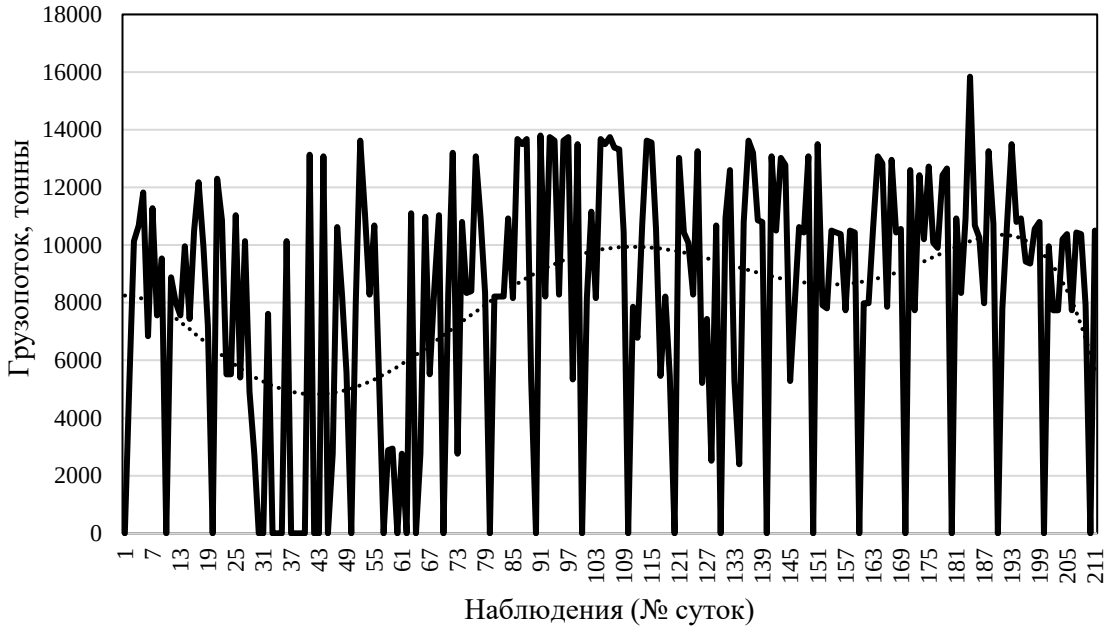


Рис. 3. Значения фактического грузопотока и полученного регрессионной моделью

Результаты достоверности аппроксимации полученных значений величины грузопотока составили: 0,7106 (искусственная нейронная сеть) и 0,1484 (регрессионная модель). Исходя из этого показателя, следует выбрать модель, построенную нейросетью, как более точную для получения прогнозных данных. Достоверность результатов данного метода можно объяснить использованием алгоритмов получения данных путем определения и использования логики возникновения фактических значений, а не стандартных математических зависимостей и функций как многие остальные методы прогнозирования, в частности регрессионный.

Библиографический список

1. Доможирова, А. Д. Моделирование устойчивого состояния системы курсирования кольцевых маршрутных поездов / А. Д. Доможирова, Р. Ю. Упырь // Железная дорога: путь в будущее. – 2022. – С. 305–308. – Текст : непосредственный.

2. Александров, А. Э. Построение автоматизированного процесса управления обращением кольцевых маршрутов / А. Э. Александров, И. А. Ковалев // Транспорт Урала. – 2007. – № 1. – С. 41–47. – Текст : непосредственный.

3. Александров, А. Э. Оптимизационная модель перевозочного процесса с использованием кольцевых маршрутов / А. Э. Александров, Е. Н. Тимухина, И. А. Ковалев // Транспорт Урала. – 2017. – № 4. – С. 36–39. – Текст : непосредственный.

4. Рыбин, П. К. Метод оптимизации структуры нейронной сети для задачи планирования подвода поездов к предпортовым станциям / П. К. Рыбин, Р. В. Горин // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 5. – С. 55–63. – Текст : непосредственный.

5. Domojirova, A. Predicting for train movement based on historical statistical data / A. Domojirova, R. Upyr, M. Eremenko // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. – 2021. – Т. 2032. – № 1. – С. 012036. – Текст : непосредственный.

6. Дмитренко, А. В. Эффективные пути повышения среднего веса грузовых поездов / А. В. Дмитренко, Е. А. Ларченко, А. А. Еременко. – DOI 10.52170/1815-9265_2021_59_69 // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4 (59). – С. 69–74. – Текст : непосредственный.

А.А. Ивасенко
Иркутский техникум транспорта и строительства,
г. Иркутск, Россия

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА В ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

В статье рассмотрены проблемы становления концепции клиентоориентированности на железнодорожном транспорте. Показано, что комплексное обслуживание клиентов является основой новой концепции управления ОАО «РЖД» – системы управления «клиентоориен-

тированности», которая становится трендом и приоритетом развития компании на ближайшие годы. Определены проблемные задачи, ряд принципиальных подходов и принципов, с помощью которых возможно разрешение этих проблем и формирование корпоративной системы управления клиентоориентированности холдинга «РЖД».

Ключевые слова: клиентоориетрированность, железнодорожный транспорт, стратегия развития, система фирменного транспортного обслуживания.

На сегодняшний день ОАО «Российские железные дороги» является клиентоориентированной компанией, которая предоставляет перевозочные услуги высокого качества с хорошим уровнем сервиса. Так, в статье Якунина В.И. «Культурная эволюция» отмечается, что «клиентоориентированность – важный фактор увеличения прибыльности компании, повышения стоимости её бренда. Главная идея заключается в том, что нужно не только удовлетворить запросы клиента, но предугадать их в будущем. [6].

На железных дорогах страны в начале 90-х годов 20 века произошел значительный спад объемов перевозок, появилась конкуренция со стороны автомобильного транспорта. Специалисты вместе с учеными проанализировали ситуацию на транспортном рынке, изучили и опыт других стран, который показал, что неизменным для железных дорог является приоритет грузовладельца и максимальное удовлетворение его требований к качеству перевозки.

Система организации железнодорожных перевозок в тот период времени не имела единого центра взаимодействия с клиентами. Отсутствовала и система сбора информации о потребностях пользователей услуг железнодорожного транспорта, не развита была сама сфера транспортных услуг.

В связи с этим в декабре 1994 г. на Коллегии МПС России было принято решение о создании принципиально новой системы транспортного обслуживания (СФТО) с целью повышения привлекательности железнодорожного транспорта для пользователей услуг.

На сегодняшний день СФТО обеспечивает полный цикл взаимодействия с клиентами при формировании и исполнении заказов на перевозку, осуществляет договорную работу с логистическими компаниями, компаниями-операторами и другими участниками транспортного рынка. Таким образом, Российские железные дороги приняли вовремя действенные меры по удержанию клиентов, продолжив конкурентную

борьбу за грузы с другими видами транспорта и выйдя на совершенно иной уровень обслуживания клиентов.

Несмотря на достигнутые результаты в компании продолжается работа по повышению уровня качества предоставляемых услуг клиентам в сфере грузовых перевозок. В соответствии с принятыми в компаниями решениями стратегия продвижения услуг будет развиваться на основе оценки удовлетворенности грузоотправителя, перехода от управления продажами услуг к управлению спросом клиентов. В связи с этим, руководству ЦФТО уже поставлена задача определить целевые сегменты рынка и потенциальную клиентскую базу на полигонах железных дорог, стейкхолдеров в лице дочерних обществ в области логистики и оперирования подвижным составом, а также выстроить эффективные каналы коммуникации с клиентами.

На Восточно-Сибирской железной дороге в структуру системы фирменного транспортного обслуживания входит Восточно-Сибирский территориальный центр фирменного транспортного обслуживания – структурное подразделение Центра фирменного транспортного обслуживания – филиала ОАО «РЖД» (Восточно-Сибирский ТЦФТО). ТЦФТО считается основным звеном системы ФТО и является главным заказчиком на транспортно-логистические услуги перед другими подразделениями холдинга «РЖД», расположенными на полигоне железной дороги.

Грузовладельцы взаимодействуют, чаще всего, с представителями ТЦФТО по технологии одного окна, хотя могут обращаться и напрямую в ЦФТО для организации перевозки грузов. Основной задачей территориального центра является организация обслуживания клиентов по перевозке грузов железнодорожным транспортом. При этом функции ТЦФТО на сегодняшний день охватывают практически все аспекты коммерческого взаимодействия железной дороги с клиентами.

Основной особенностью ВС ТЦФТО является геополитическое территориальное положение железной дороги. Восточно-Сибирская магистраль обеспечивает отгрузку и перевозку грузов в порты Дальнего Востока и Черного моря, Китай, государства Средней Азии. Дорога проходит по территории 4-х субъектов РФ.

Восточно-Сибирская дорога занимает 3-е место по объему отгрузки угля среди 16 дорог России. Объем погрузки каменного угля в адрес предприятий теплоэнергетики Иркутской области составляет более 50 % от общего количества вагонов под погрузку. Основная погрузка ведется на станциях Тулун, Азей, Черемхово, Касьяновка.

На станциях ВСЖД отгружаются нефтяные грузы, химикаты, кокс. Коршуновский ГОК грузит железную руду на станциях Коршуниха-Ангарская, Рудногорск и Хребтовая.

Основные клиенты железной дороги отправляют и принимают грузы на станциях Иркутской области и Республики Бурятия. Исследование рынка показало, что более 1040 предприятий пользуются услугами железнодорожного транспорта.

Согласно официальной информации территориальных органов Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области и Республики Бурятия, доля перевозок грузов железнодорожным транспортом в 2021 году составила по Иркутская область – 43,6 %, по Республике Бурятия – 45,4 %. В тоже время доля грузооборота железнодорожного транспорта в 2016 году составила по Иркутская область – 97,4 %, по Республике Бурятия – 99,6 %. Средняя дальность перевозки грузов железнодорожным транспортом составляет 2835 км, а ближайшим конкурентом, автомобильным транспортом – 21 км.

Анализируя грузопотоки, перемещающиеся по автомобильным дорогам Восточной Сибири, выявлено, что преимущественно грузы перевозятся транзитом с территории Западной Сибири и Красноярского края в регионы Забайкалья, Якутии и Дальнего Востока.

Региональные автомобильные перевозки грузов осуществляются мелкими партиями для муниципальных, торговых, строительных предприятий. Кроме этого производятся перевозки грузов предприятий горнодобывающей отрасли с угольных разрезов до фронтов погрузки на железнодорожный транспорт (железнодорожные станция Нижнеудинск, Зима, Суховская, Китой-Комбинатская, Батарейная, Харанхой, Иркутск-Сортировочный). Аналогичные перевозки осуществляются для перерабатывающих предприятий лесопромышленного комплекса, куда доставляют круглый лес, балансы и хлысты с мест заготовки древесины.

Одним из мероприятий по созданию наиболее привлекательных условий грузоотправителям стало создание на Восточно-Сибирской железной дороге сети Единых клиентских центров на базе Восточно-Сибирского ТЦФТО.

Главное преимущество клиентского центра – доступность транспортных продуктов, индивидуальный подход к каждому клиенту и организация работы по принципу «одного окна». Система сбыта услуг ОАО «РЖД» представлена на Рисунке.

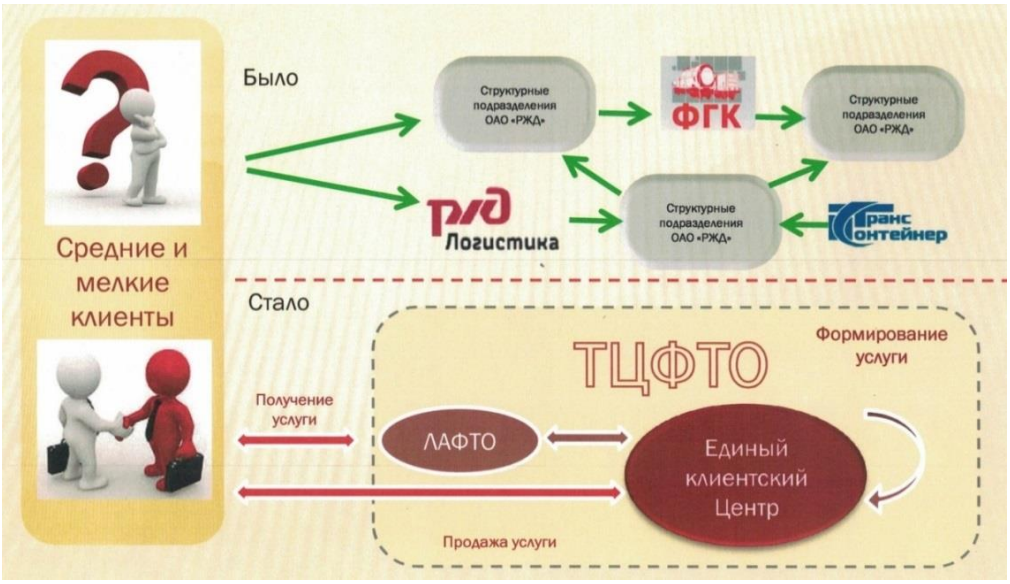


Рисунок. Система сбыта услуг ОАО «РЖД»

Впервые на сети железных дорог России Единый клиентский центр в г. Иркутске был открыт в сентябре 2015 года, а год спустя приступил к работе аналогичный центр в г. Улан-Удэ. Эти предприятия на принципах «одного окна» совместили в себе все транспортно-логистические услуги в сфере грузовых перевозок, упростив процедуры заключения договоров и повысив качество обслуживания существующих потребителей услуг холдинга «РЖД».

До создания центров для оформления перевозочных документов требовалось посетить несколько подразделений железной дороги, территориально далеко расположенных друг от друга. С созданием клиентских центров необходимость в этом пропала – достаточно зайти в клиентский центр и заключить один договор на необходимые услуги. Единые клиентские центры оказывают услуги: организация и сопровождение перевозки грузов, подбор подвижного состава; погрузочно-выгрузочные работы, терминально-складские услуги, оформление перевозочных документов, размещение и крепление груза на подвижном составе и др.

Несмотря на широкий спектр предоставляемых услуг, деятельность клиентского центра постоянно совершенствуется, например, планируется предоставление клиентам новой услуги по разработке, согласованию и утверждению документации по работе железнодорожных путей необщего пользования. Особенностью в работе центра стала организация оперативного взаимодействия менеджеров ТЦФТО с представителями крупных железнодорожных предприятий, таких как АО «Федеральная

грузовая компания», ПАО «Трансконтейнер», АО «РЖД Логистика», Восточно-Сибирская дирекция по управлению терминально-складским комплексом.

В условиях взаимодействия возникла необходимость создания *единого каталога услуг холдинга «РЖД»,* работа по созданию которого уже ведется. Этот каталог будет представлять собой перечень оказываемых услуг как при взаимодействии подразделений холдинга друг с другом при выполнении технологических процессов грузов и пассажиров, так и при взаимодействии ОАО «РЖД» с клиентами, что поможет в создании эффективной корпоративной системы и внешней клиентоориентированности.

Клиентоориентированность – это умение поставить себя на место клиента, так сказать, смотреть на все его глазами. Причем владеть этой способностью должны не только менеджеры и консультанты, но и работники непосредственно не общающиеся с клиентами.

В едином клиентском центре переплетаются внешняя и внутренняя клиентоориентированность. Переход от функционального управления к процессному требует от сотрудников постоянной совместной работы, несмотря на то, что они могут относиться к различным подразделениям. От того на сколько удастся обеспечить эту совместную работу, будет зависеть работоспособность принципов клиентоориентированности.

Внешняя клиентоориентированность – это подразделения, представляющее собой связующее звено между клиентами и бизнесом для взаимодействия с посетителями, как лично, так и онлайн. Сотрудники таких подразделений предоставляют следующие услуги: консультирование клиента, прием заявок, заключение договоров на перевозку и предоставление дополнительных услуг подразделений ОАО «РЖД», анализ потребностей пользователей услуг.

Задачей внутренней клиентоориентированости, а это сотрудники внутренних отделов компании, которые не взаимодействуют с клиентами, стала организация предоставления предлагаемых услуг. Поставленная задача реализуется через пересмотр тарифной политики, разработку новых услуг и новых форм договоров, оценку удовлетворенности клиентов.

Подводя итог, можно сказать что клиентоориентированность – это вид современного подхода в управлении, основными функциями которого являются стратегическое планирование развития корпорации по видам деятельности, обновления и развития видов производства и технологий, достижения конкурентных преимуществ на рынках продукции, обеспечения устойчивого роста производительности труда, совершен-

ствования организационной структуры управления и коммуникационных отношений между её элементами и приведения их в соответствие с изменениями в сфере производства и создаваемыми условиями труда [5].

В планах Восточно-Сибирской железной дороги – дальнейшее упрочнение и развитие новых связей с клиентами, слияние задач грузовой и коммерческой работы в ЦФТО, а также организация комплексного транспортно-логистического обслуживания. Во всем этом главным направлением развития услуг станет усиление маркетинга и продаж с ориентацией на финансово-экономический результат работы Российских железных дорог.

Библиографический список

1. Апенько, С. Н. Клиентоориентированность персонала в концепции маркетинга отношений / С. Н. Апенько, М. Н. Шавровская // Вестник Омского государственного университета. Серия: Экономика. – 2010. – № 2. – С. 50–56. – Текст : непосредственный.

2. Баскин, Р. В. Интерес клиента – политика холдинга / Р. В. Баскин // Пульт управления. – 2015. – № 3. – С. 14–17. – Текст : непосредственный.

3. Восточно-Сибирский территориальный центр фирменного транспортного обслуживания. – URL : http://www.rzd.ru/ent/public/ru?STRUCTURE_ID=5185&layer_id=5554&id=4973. – Текст : непосредственный. – Текст : электронный.

4. Зенкевич, А. А. Секреты клиентоориентированности: руководство по приобретению преданных клиентов / А. А. Зенкевич. – Москва, 2013. – 42 с. – Текст : непосредственный.

5. Ивасенко, А. А. Корпоративное управление как способ повышения эффективности производства / А. А. Ивасенко // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы седьмой международной научно-практической конференции. – Том 2. – Иркутск : ИрГУПС, 2014. – С. 229–233. – Текст : непосредственный.

6. Якунин, В. И. Культурная эволюция / В. И. Якунин // Пульт управления журнал для руководителей компаний транспортной отрасли. – 2012. – № 5. – С. 37. – Текст : непосредственный.

7. Дмитренко, А. В. Эффективные пути повышения среднего веса грузовых поездов / А. В. Дмитренко, Е. А. Ларченко, А. А. Еременко. – DOI 10.52170/1815-9265_2021_59_69 // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4 (59). – С. 69–74. – Текст : непосредственный.

Е.В. Каимов, В.А. Оленцевич, Н.В. Власова
Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ, РАЗВИТИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Основной проблемой снижения уровня пропускной способности объектов инфраструктуры Восточного полигона железных дорог являются прирост интенсивности движения грузовых поездов на восточном направлении, полное отсутствие или достаточно низкий резерв для пропуска поездов, наличие технических и организационных нарушения в работе структурных подразделений в секторе обеспечения безопасности перевозочного процесса. Данные факторы приводят к появлению простоя подвижного состава непроизводительного характера, либо к увеличению времени данного простоя. Проблемы определения и оценки лимитирующих пропускную способность элементов инфраструктурного комплекса железных дорог являются достаточно актуальными: они обсуждались и постоянно обсуждаются в научной и производственной среде.

Ключевые слова: пропускная способность, инфраструктурный комплекс, совершенствование железнодорожного пути, реконструктивные мероприятия, формирование и пропуск контейнерных поездов.

Научно-техническим советом ОАО «Российские железные дороги» (далее – ОАО «РЖД») принято решение в рамках повышения эффективности работы Байкало-Амурской (далее – БАМ) и Транссибирской магистралей (далее – Транссиб) разработать комплекс мер, направленных на увеличение уровня пропускной способности особо значимых объектов, обеспечить к 2025 году на восточном направлении прирост грузопотока свыше 250 млн тонн, в первую очередь, за счет модернизации железнодорожных станций, сооружения дополнительных железнодорожных путей и двухпутных вставок, реконструкции мостов, тоннелей, широкого применения интеллектуализации и цифровизации перевозочного процесса [1–3].

Необходимость интенсивного развития транспортной инфраструктуры восточного направления ставится одной из главных задач и на государственном уровне, что послужило основой при разработке ряда документов: «Транспортная стратегия Российской Федерации»; государ-

ственная программа «Развитие транспортной системы России» и программы развития отдельных видов транспорта. Отдельно рассматриваются вопросы повышения уровня эффективности и надежности функционирования железнодорожной транспортной системы и ее укрупненных элементов: перегонов, входных и выходных горловин железнодорожных станций, приемоотправочных парков [3, 4].

Возникновение непроизводительных простоев технических средств между отдельными технологическими операциями, неравномерная внутрисуточная загрузка маневровых локомотивов, необходимость наличия резервов пропускной способности объектов транспортной инфраструктуры, излишний вагонный парк, привлечение дополнительного эксплуатационного персонала – все это последствия нестабильного значения интервала поступления поездов на железнодорожные станции и узлы, приводящие к нехватке пропускной и перерабатывающей способности объектов железнодорожной транспортной системы [5]. Потенциал увеличения пропускной способности железнодорожной инфраструктуры можно развить за счет применения ряда комплексных технологических решений.

В настоящее время на Восточном полигоне в рамках данных технологических решений, в том числе и по БАМу, происходит увеличение доли тяжеловесных и длинносоставных поездов. Практика организации тяжеловесного движения и пропуска поездов повышенной длины по железным дорогам, входящим в структуру Восточного полигона, показывает, что определить оптимальное суточное количество пропуска поездов данной категории на участке возможно только при помощи исследований и оценки экономической эффективности. Данный принцип позволяет взвешенно подходить не только к технической стороне вопроса увеличения пропускной способности, но и к оценке ограничений и возможностей имеющийся транспортной инфраструктуры, в рамках функционирования ее в сложных природно-климатических и географических условиях, а также к экономическим вопросам: просчитывать необходимые затраты и ожидаемые эффекты.

Учитывая прогнозные значения прироста размеров длинносоставного движения на восточном направлении, необходима скорейшая разработка проектных решений, направленных на увеличение пропускной способности участков БАМа и Трансиба, что возможно только за счёт применения реконструктивных мер, наращивая ёмкость путевого развития железнодорожных станций на ряде перегонов [6, 7]. При реконструкции элементов инфраструктурного комплекса железных дорог, свя-

занной с удлинением приемоотправочных путей, возникает множество вопросов:

– выделение железнодорожных станций, требующих удлинения приемоотправочных путей для пропуска и обработки длинносоставных поездов;

– установление очерёдности реализации проектов комплексного развития данных станций с целью поэтапного прироста поездопотока и исключения текущих потерь грузонапряженности объектов транспортной инфраструктуры;

– определение потребного количества приемоотправочных путей на станциях, предназначенных для пропуска длинносоставных поездов;

– выбор соответствующих установленным требованиям объектов производственной инфраструктуры для обгона длинносоставных поездов поездами других категорий;

– определение количества и географического расположения железнодорожных станций на участке, которые следует выделять для обгона длинносоставных поездов [8].

Результаты анкетирования грузоотправителей Восточно-Сибирского территориального центра фирменного транспортного обслуживания показали, что наиболее востребованным сервисом является формирование и пропуск контейнерных поездов. Средний состав объединенного контейнерного поезда для условий Восточного полигона составляет 120 вагонов в нечетном направлении, 130 вагонов в четном направлении и более, что позволит в значительной мере повысить пропускную и перерабатывающую способности инфраструктурного комплекса, снизить затраты на перевозку.

С целью привлечения клиентов к контейнерным перевозкам как динамически развивающемуся сегменту грузовых перевозок целесообразно предусмотреть следующий комплекс мероприятий:

– погрузка целлюлозы ООО «Финтранс ГЛ» в 40-футовые контейнеры и формирование ускоренного контейнерного поезда;

– погрузка угля в мягкие разовые контейнеры по железнодорожной станции Военный Городок ВСЖД;

– формирование ускоренного контейнерного поезда по маршруту Ворсино – Первая Речка [3, 4].

В настоящее время с целью обеспечения готовности транспортной инфраструктуры восточного направления движения к реализации мероприятий по пропуску поездов повышенной длинны 130 вагонов и более по отдельным железнодорожным станциям Восточного полигона целесообразно разработать проектные решения с учетом развития вспомога-

тельных (технических, предузловых) железнодорожных станций во взаимоувязке с развитием припортовых узлов и полигонов сети.

Крупным структурным подразделением, предназначенным для обеспечения безопасной и бесперебойной работы восточного направления железных дорог, является участковая железнодорожная станция Слюдянка-I, которая выполняет следующие виды работ:

– обработку транзитных поездов без переработки, прием, расформирование, формирование и отправление составов поездов в соответствии с установленным планом формирования и графиком движения поездов;

– обработку грузовых поездов с изменением веса и длины составов;

– техническое обслуживание составов поездов и вагонов.

Именно по данной станции в перспективе планируется организация пропуска длинносоставных контейнерных нечетных поездов от 116 до 138 условных вагонов с учетом выполнения ряда технологических операций. По станции Слюдянка-I в основном выполняется работа с транзитными грузовыми поездами по смене локомотивных бригад и техническое обслуживание поездов своего формирования, а также производится объединение грузовых поездов с постановкой действующих локомотивов в голове и середине состава поезда с объединенной тормозной магистралью. Организация движения соединенных грузовых поездов производится с целью прироста пропускной и провозной способностей участков примыкания, сокращения времени задержек поездов при предоставлении технологических «окон» для ремонтно-путевых и строительных работ на имеющейся инфраструктуре. Если формируемый поезд не помещается в границах полезной длины железнодорожного пути, происходит его протягивание и осаживание с занятием стрелочных горловин, соединительных, вытяжных, ходовых и других путей станции, при условии соблюдения мер безопасности организации движения поездов, позволяющих при выполнении данных операций изолировать выход состава на маршруты приема, отправления других поездов.

Комплексный анализ технологии работы станции в условиях пропуска нечётных контейнерных поездов составом до 130 условных вагонов определил, что при прибытии грузового поезда на станцию и постановке локомотива подталкивания в голову поезда, требуется смена кабины локомотива, локомотивной бригадой для дальнейшей постановки в голову поезда. Данные маневровые передвижения производятся за маневровыми сигналами №№М96, М48 и М98, которые расположены вдоль первого главного пути станции, по которому производится сквозной пропуск нечетных поездов на станцию Слюдянка-II [9].

Электрификация станционного тупика № 43 станции Слюдянка-I позволит осуществлять безостановочный пропуск нечетных транзитных поездов до станции Слюдянка-II, обращающихся на данном участке, при производстве маневровых передвижений без выезда локомотивов подталкивания на главный путь станции и беспрепятственной постановке локомотивов под туристические поезда следованием Слюдянка-I – Порт-Байкал – Иркутск-Пассажирский – Улан-Удэ. Данное мероприятие предусматривает увеличение пропускной способности станции Слюдянка I в нечетном направлении, на данный момент маневровая работа производится на главном ходовом пути станции.

С целью увеличения уровня пропускной способности горловин станции по направлениям движения также потребуется обустройство дополнительных съездов №№110/112, 114/116, 144/146 и стрелочного перевода №44.

Полученные расчетным путем значения показателей работы станции Слюдянка-I [10] при вариантном суточном плане графике показали значительное улучшение:

– продолжительность занятости путей транзитным четным поездом составило 44 мин, транзитным нечетным поездом – 8 мин;

– суммарная продолжительность технологических операций по обработке грузовых поездов – 11732 мин;

– коэффициент использования имеющейся мощности парка путей – 0,78;

– мощность путей для разных категорий поездов по каждому подходу или выходу – 207 и 175 поездов соответственно;

– расчетная технологическая мощность приемоотправочного парка станции составила 393 поезда.

В Таблице рассмотрены возможные технические параметры элементов западной горловины станции на предмет увеличения поездопотока: элемент «*а*» – СП4, СП6, СП12, СП112, СП114, СП146, СП44; элемент «*б*» – СП2, СП8, СП10; элемент «*в*» – СП14, СП34; элемент «*г*» – СП36, СП46, СП74, СП62; элемент «*д*» – СП60, СП86, СП104; элемент «*е*» – СП88, СП102, СП106; элемент «*ж*» – СП38, СП40, СП50, СП58; элемент «*з*» – СП18, СП20, СП30, СП32, СП22; элемент «*и*» – СП110; элемент *«к»* – СП116, СП144.

Таблица

Прогноз изменения технических параметров элементов горловины станции при увеличении поездопотока

Возможные маршруты передвижения	Стрелочные переводы, участвующие в маршруте передвижения	Продолжительность занятия маршрута одной операцией, мин	Допустимое количество операций на маршруте передвижения n'	Продолжительность занятия маршрута передвижения всеми операциями, мин		Элементы, в которые входят стрелочные переводы, участвующие в маршруте передвижения
				изменяющимися	постоянными	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Отправление грузовых поездов с 23 пути	110,116,144,44,36,60,86, 88,102,106	4	4	16	-	*г,д,е,и,к*
Съем толкачей II пути по отправке с пути 3а	112,114,2,4,6,8,10,12,14	4	25	100	-	*а,б,в,к*
Отправление грузовых поездов с I пути	110,116,144,44,36,60,86, 104	4	36	144	-	*г,д.и,к*
Отправление грузовых поездов с 3 пути	110,116,144,44,36,46,74, 62	4	40	160	-	*г,и,к*
Прием/отправление грузовых поездов на/с 5 пути	2,4,6,146,12,44,36,46, 74/110,116,144,44,36, 46, 74	4	6/34	24/136	-	*а,б,ги,к/ги,к*
Прием/отправление грузовых поездов на/с 7 пути	2,8,10,14,34,38,40,50/110,116,144,146,12,14,34, 38,40,50	4	19/2	76/8	-	*б,в,ж/а,в,ж*
Прием/отправление грузовых поездов на/с 9 пути	2,8,10,14,34,38,40,50/110,116,144,146,12,14,34, 38,40,50	4	22/2	88/8	-	*б,в,ж/в,ж,и, к*
Прием/отправление грузовых поездов на/с 11 пути	2,8,10,14,34,38,40/110, 116,144,146,12,14,34, 38,40	4	20/4	80/16	-	*б,в,ж/в,ж,и, к*
Прием/отправление грузовых поездов на/с 13 пути	2,8,10,14,34,38,58/110, 116,144,146,12,14,34,38, 58	4	17/8	68/32	-	*б,в,ж/ в,ж,и,к*
Прием/отправление грузовых поездов на/с 15 пути	2,8,10,14,34,38,58/110, 116,144,146,12,14,34,38, 58	4	13/8	52/32	-	*б,в,ж/в,ж,и, к*
Приём грузовых поездов на 17 путь	2,8,10,18,20,30	4	17	63	-	*б,з*
Прием грузовых поездов на 19 путь	2,8,10,18,20,30,32	4	23	92	-	*б,з*
Приём грузовых поездов на 21 путь	2,8,10,18,20,30,32	4	23	92	-	*б,з*
Отправление грузовых поездов с 4а пути	4,6,8,10,18,20,22,70	4	3	12	-	*а,б,з*

Окончание Таблицы

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Прием пассажирских поездов на II путь	2,8,10,18,20,22,70	5	11	-	55	*б,з*
Прием/отправление пассажирских поездов на/с 4а пути	2,8,10,18,20,22,70/4,6,8, 10,18, 20,22,70	5	4/4	-	20/20	*б, з/а, б,з*
Прием/отправление пассажирских поездов на/с I пути	2,4,6,146,12,44,36,60,86, 106/110,116,144,44,36, 60,86,104	5	2/7	-	10/35	*а,б, г,д,е,к/г, и,к*
Прием/отправление пассажирских поездов на/с 23 пути	2,4,6,146,12,44,36,60,86, 88,102,106/110,116,144, 44,36,60,86,88,102,106	5	1/1	-	5/5	*а,б, г,д,е,к/г, е,и,к*
Прием/отправление пассажирских поездов на/с 3 пути	2,4,6,146,12,44,36,46,74, 62/110,116,144,44,36, 46,74,62	5	1/5		5/25	*а,б, г,к/г,и,к*
Отправление пассажирских поездов с 5 пути	110,116,144,44,36,46,74	5	1		5	*г,и,к*

Из Таблицы видно, что интенсивно используемыми элементами являются элементы «*б*», «*г*», «*и*», «*к*».

Общее время занятия путей операциями с грузовыми поездами, предусмотренными технологическим процессом, зависит от размеров движения и специализации путей. Проведем расчет для выявления наиболее загруженного из них: элемент «*б*» – 893 мин, элемент «*г*» – 486,3 мин, элемент «*и*» – 543,6 мин, элемент «*к*» – 644,31 мин.

Общая продолжительность занятия соответствующего элемента стрелочного перевода постоянными операциями: элемент «*б*» – 117 мин, элемент «*г*» – 84 мин, элемент «*и*» – 71 мин, элемент «*к*» – 70 мин.

Отношение анализируемых элементов ($К_0$): элемент «*б*» – 0,69, элемент «*г*» – 0,35, элемент «*и*» – 0,38, элемент «*к*» 0,46.

Максимальное значение $К_0$ равное 0,69 имеет элемент «*б*», которому соответствует группа стрелочных переводов №№ 2, 8, 10, т.е. при принятом в расчет соотношении между количеством поездов различных категорий и направлений, расчетным элементом в данной горловине является элемент «*б*». Уровень пропускной способности горловины будет определяется именно по данному элементу.

Согласно расчетным значениям для данной горловины, общее количество маршрутов составило 30 единиц, число маршрутов с занятием расчетного элемента «*б*» – 20 единиц, т.е. одновременно возможно осуществление не более двух передвижений. Величина, характеризующая сложность проведения технологической работы в рассматриваемой горловины составила 2. Влияние возможных технических перерывов в использовании стрелочных переводов расчетного элемента из-за наличия

враждебных передвижений по остальным элементам горловины учитывается коэффициентом, расчетное значение которого составило 0,93. Для рассматриваемой горловины коэффициент использования равен 0,79.

Таким образом, с учетом предложенных технических решений пропускная способность горловины: по приему нечётных транзитных грузовых поездов – 181 поезд, по отправлению чётных транзитных грузовых поездов – 204 поезда. Прогнозное значение годового экономического эффекта от изменения показателей работы железнодорожной станции при условии реализации предложенных технических решений – 16332,21 млн руб [11].

Библиографический список

1. Восточный полигон. – URL : http://www.gudok.ru/sujet/eastern_polygon/ – Текст : электронный.

2. БАМ и Транссиб работают на пределе пропускной способности. – URL : http://eurasiancenter.ru/infrastructureexperts/20150505/1004085409.html – Текст : электронный.

3. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения). – URL : http://doc.rzd.ru. – Текст : электронный.

4. Булохова, Т. А. Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры в условиях реализации транзитного потенциала государств-членов ЕАЭС / Т. А. Булохова, В. А. Оленцевич // Железная дорога: путь в будущее: сборник материалов I Международной научной конференции аспирантов и молодых ученых. – Москва, 2022. – С. 358–363. – Текст : непосредственный.

5. Мугинштейн, Л. А. Вопросы организации стабильного пропуска транзитных грузовых поездов на направлениях железных дорог с учетом технических и технологических особенностей работы технических станций и перегонов / Л. А. Мугинштейн, М. И. Мехедов // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – № 1. – С. 3–11. – Текст : непосредственный.

6. Olentsevich, V. A. Set of organizational, technical and reconstructive measures aimed at improvement of section performance indicators based on the study of systemic relations and regularities of functioning of railway transport system / V. A. Olentsevich, Y. I. Belogolov, G. N. Kramynina // IOP Conference Series: materials Science and Engineering. – 2020. – 832(1), 012038. – Текст : непосредственный.

7. Lysenko, D. A. Formation of new principles and models of operation of structural units of the industry under the conditions of implementation of digital technologies / D. A. Lysenko, V. A. Olentsevich, N. V. Vlasova,

V. Yu Konyukhov // IOP Conf. Series: materials Science and Engineering. – 2020. – 1064 (2021) 012025. – Текст : непосредственный.

8. Каимов, Е. В. Совершенствование научно-технического сопровождения, мониторинга и контроля производства работ по устройству линейного транспортного сооружения / Е. В. Каимов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 2 (70). – С. 120–128. – Текст : непосредственный.

9. Инструкция «О порядке вождения и подталкивания грузовых поездов на перевальных участках Восточно-Сибирской железной дороги» − филиала ОАО «РЖД» [утверждена приказом начальника дороги ВСЖД № 81 от 16.03. 2016 г.]. – Текст : непосредственный.

10. Об утверждении инструкции по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» № 545/р от 04.03.2022. – Текст : непосредственный.

11. Гуд, Ю. О. Экономические аспекты проведения реконструктивных мероприятий с целью прироста пропускной способности железнодорожных станций Восточного полигона / Ю. О. Гуд, П. Н. Ефременко, В. А. Оленцевич // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых : в 3-х томах. – Курск, 2022. – Том 1. – С. 75–77. – Текст : непосредственный.

М.И. Коновалова
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

С.В. Дружин, Е.В. Мартемьянова
Забайкальская железная дорога,
г. Чита, Россия

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ СТАНЦИЙ ЗА СЧЕТ УСТРАНЕНИЯ ПОТЕРЬ

В статье рассмотрена эффективность функционирования системы бережливого производства в Забайкальской дирекции управления движением. Представлены цели в области качества Забайкальской дирекции управления движением с разбивкой на сегменты с достижением целевых показателей. Приведена политика в области качества Забайкальской дирекции управления движением, определены основные задачи. Предложены меры по улучшению технологических процессов работы станций за счет устранения потерь. Особое внимание уделено мульти-

функциональным проектам с применением сквозных технологий перевозочного процесса, которые внедрены на Забайкальской железной дороге.

Ключевые слова: бережливое производство, клиентоориентированность, система менеджмента качества, бизнес-процессы, целевые показатели качества, политика в области качества, корпоративная культура, культура безопасности движения, устранение потерь, мультифункциональные проекты, сквозные технологии перевозочного процесса, экономический эффект.

В Стратегии развития холдинга «РЖД» – 2030 клиентоориентированность, эффективность производственных процессов, постоянные улучшения, поиск путей повышения качества услуг и роста эффективности определены как ценности, с учетом которых осуществляется достижение долгосрочных целей холдинга. Сегодня эти ценности приобретают особую значимость и проходят красной нитью в принимаемых управленческих решениях. Одним из способов развития производственной системы, ориентированной на клиента и позволяющей при этом повышать внутреннюю эффективность компании, является бережливое производство.

Система управления качеством является функциональной частью системы управления ОАО «РЖД», главной целью функционирования, которой выступает обеспечение реализации Стратегии управления качеством. Система менеджмента качества в ОАО «РЖД» (СМК) – комплекс нормативной и технической документации, определяющей основные принципы управления процессами и ресурсами с целью эффективного функционирования железнодорожного транспорта, повышения качества оказания услуг в сфере пассажирских, грузовых перевозок, поставок продукции для ОАО «РЖД» и внутренних технологических процессов, направленных на удовлетворение ожиданий потребителей. Объектами внедрения СМК являются: основные производственные технологические процессы, бизнес-процессы, охватывающие основные виды деятельности в структурных подразделениях компании. Предметами внедрения СМК в компании являются: нормативная и техническая документации, инструменты управления качеством, позволяющие установить для ОАО «РЖД» цели и задачи, определить процессы и ресурсы, необходимые для получения целевых результатов на основе соблюдения требований стандартов серии ISO и IRIS.

Цели в области качества Забайкальской дирекции управления движением разбиты на сегменты с достижением целевых значений. В сег-

менте «Удовлетворенность потребителей» целью является выполнение графика движения поездов по основному показателю отраслевого соревнования не менее 98,75%; выполнение графика движения пассажирских поездов своего формирования (по отправлению, проследованию и прибытию поездов на конечные станции) не менее 99,39%.

Сегмент «Качество технологических процессов» характеризуется следующими целями: обеспечить скорость доставки грузовых отправок в груженых вагонах по проследованию не менее 650 км/сут.; обеспечить достижение участковой скорости не менее 34,1 км/ч.; обеспечить средний вес грузового поезда на уровне 4027 тонн; обеспечить среднесуточную производительность локомотива рабочего парка в грузовом движении на уровне 2650 тыс.км брутто. В сегменте «Функционирование корпоративной системы менеджмента качества» поставлены цели по выполнению плана-графика проведения аудитов системы управления качеством, а также получение экономического эффекта от реализации проектов бережливого производства.

Политика в области качества Забайкальской дирекции управления движением заключается в полной удовлетворенности потребителей в грузовых и пассажирских перевозках, повышении внутренней эффективности за счет совершенствования технологических процессов, повышения уровня безопасности и надежности перевозочного процесса. Определены следующие основные направления:

– обеспечение соответствия пропускных, провозных способностей инфраструктуры потребностям пользователей услуг железнодорожного транспорта;

– укрепление на рынке транспортно-логистических услуг за счет повышения качества предоставляемых услуг и целенаправленной работы с клиентами;

– участие в развитии полигонных принципов управления перевозочным процессом, содержанием и ремонтом инфраструктуры;

– повышение операционной эффективности, оптимизация расходов, совершенствование организации производственных процессов;

– проведение кадровой, социальной и молодежной политики, развитие эффективной системы информирования и обратной связи;

– развитие корпоративной культуры, культуры безопасности движения, соответствующей ценностям и стратегическим задачам холдинга «РЖД».

Для достижения поставленных ориентиров требуется четкая и скоординированная работа всех подразделений, вклад каждого сотрудника в достижение целей в области качества.

Забайкальская дирекция управления движением в рамках бережливого производства, поставила цель – улучшить технологические станционные процессы за счет устранения потерь. Ведь бережливое производство это концепция управления производственным предприятием, которая основана на постоянном стремлении предприятия к устранению всех видов потерь.

На практике можно выделить следующие виды потерь, представленные на рис. 1.

Рис. 1. Виды потерь

Основной целью внедрения проектов бережливого производства является сокращение потерь и получение экономического эффекта.

В рамках бережливого производства оборудуются рабочие места дежурных по станции (рис. 2).

Рис. 2. Рабочее место дежурного по станции

Производится рациональное размещение инвентаря дежурных по станции, сортировочной горке (рис. 3).

Рис. 3. Размещение инвентаря дежурного по станции

Оборудуется рабочая зона составителя поездов в зоне расцепа вагонов на сортировочной горке (рис. 4).

Рис. 4. Размещение инвентаря составителя поездов

Особое внимание в стратегии бережливого производства уделяется мультифункциональным проектам с применением сквозных технологий перевозочного процесса, которые разрабатываются и выполняются узловыми рабочими группами. Эффект от таких проектов может исчисляться десятками и сотнями миллионов рублей, то есть на порядок больше, чем от функционального проекта на отдельном линейном предприятии. Поэтому целесообразно увеличивать долю мультифункциональных проектов на предприятиях железнодорожного транспорта. На протяжении нескольких лет Забайкальская дирекция управления движением планомер-

но разрабатывает и внедряет такие проекты. Так в 2022 году разработаны и внедрены:

Мультифункциональный проект: «Изменение процесса обработки состава поезда по прибытию на станцию Холодный Ключ, за счет перераспределения обязанностей» (рис. 5).

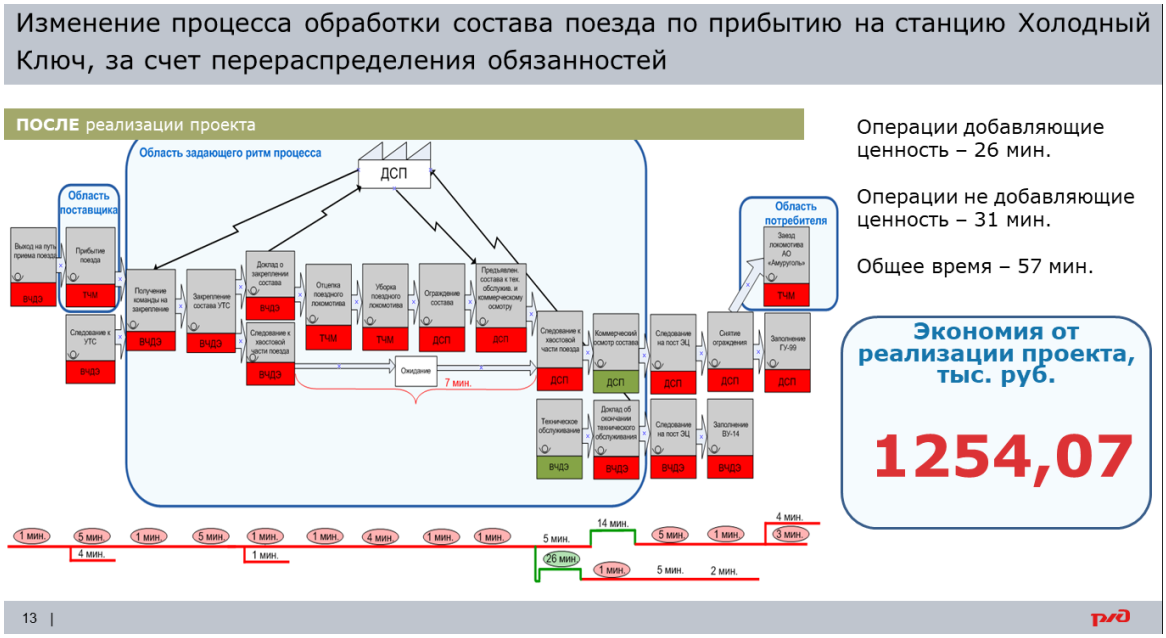


Рис. 5. Мультифункциональный проект по станции Холодный Ключ

Реализовав данный проект, экономический эффект получен за счет, высвобождения 2-х штатных единиц должности приемосдатчика груза и багажа, за вычетом доплаты осмотрщикам вагонов за совмещение профессий, и составил 1 млн. 254 тыс. рублей.

Мультифункциональный проект: «Оптимизация процесса обработки грузового поезда за счет параллельного проведения операций сдача/прием локомотива, сокращение времени на проведения сокращенного опробования тормозов» (рис. 6).

Мультифункциональный проект: «Оптимизация технологического процесса маневровой работы по постановке уборке вагонов на Главном материальном складе (ГМС на ст. Чита I), рис. 7.

Мультифункциональный проект: «Оптимизация маршрута поставки твердого топлива железнодорожным транспортом со ст. Шахтерская на объекты ДТВ», рис. 8.

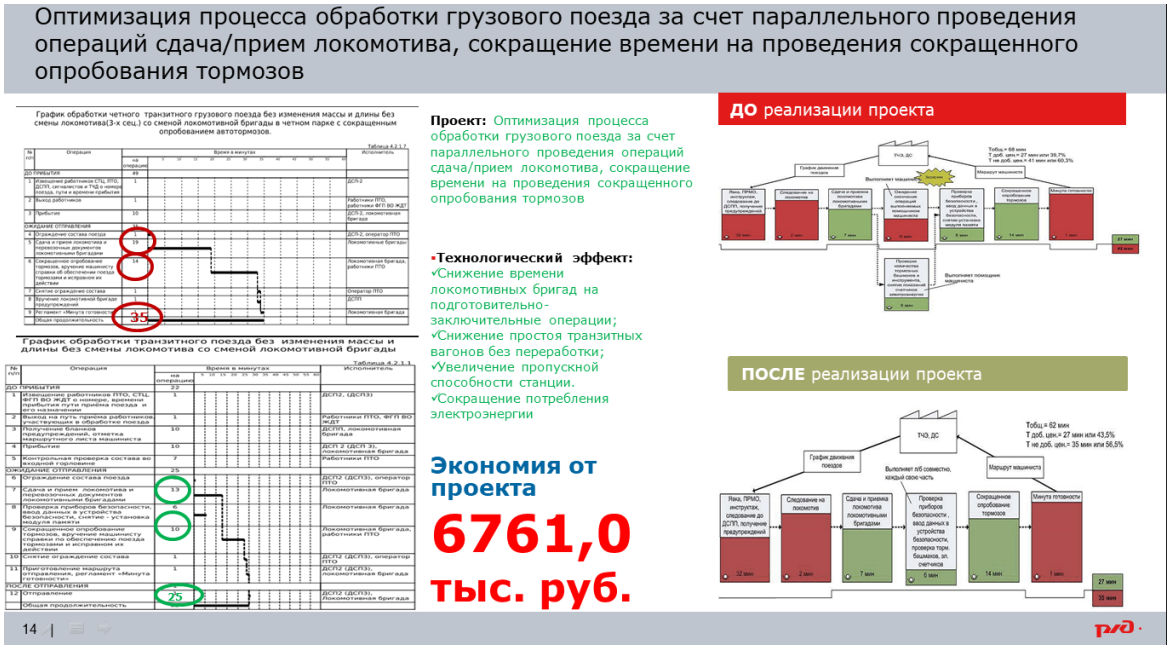


Рис. 6. Мультифункциональный проект по оптимизация процесса обработки грузового поезда

Рис. 7. Мультифункциональный проект по Главному материальному складу

Рис. 8. Мультифункциональный проект по станции Шахтерская

Применение инструментов бережливого производства в Забайкальской дирекции управления движением позволяет оптимизировать использование материальных и трудовых ресурсов, сократить время на выполнение технологических операций, увеличить производительность труда, улучшить условия охраны труда, снизить стоимость и повысить качество перевозок, способствует росту клиентоориентированности и конкурентоспособности железнодорожных перевозок.

В новых экономических условиях Компания нуждается в использовании всех резервов для обеспечения финансовой устойчивости ее деятельности. Одним из таких резервов при должном подходе может стать измеримый эффект от проектов бережливого производства. Бережливое производство – это реальный инструмент улучшения технологических процессов работы железнодорожных станций, что подтверждается получением экономического эффекта.

Библиографический список

1. Стратегия развития холдинга «РЖД» до 2030 года. – Текст : непосредственный.

2. Выявление и устранение потерь в эксплуатационной работе железнодорожной станции с применением инструментов бережливого производства / Е. В. Мартемьянова, М. И. Коновалова // Образование – Наука – Производство : материалы IV Всероссийской научно-

практической конференции 24 декабря 2020 г. – Чита : ЗабИЖТ ИрГУПС. – 2020. – 248 с. – Текст : непосредственный.

3. Методика оценки экономической эффективности внедрения технологий бережливого производства в структурных подразделениях филиала ОАО «РЖД» от 29.12.2012 г. – № 2768р. – 25 с. – Текст : непосредственный.

М.С. Петров, Е.В. Маловецкая
Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ

В современном мире для перевозки массовых грузов все чаще используют тяжеловесное движение. С помощью тяжеловесного движения можно снизить себестоимость перевозки. Также улучшается пропускная и провозная способности. К преимуществам тяжеловесного движения можно отнести и возможность быстрого ремонта путей. В данной статье будет рассмотрено развитие тяжеловесного движения, а также проблемы, связанные с данным движением. Тяжеловесное движение имеет ряд особенностей, которые предлагается изучить в данной статье.

Ключевые слова: провозная способность, тяжеловесное движение, железная дорога, тариф, поезд повышенной длины, повышенная масса, пропускная способность.

На данный момент применение тяжеловесных поездов используется для улучшения провозной и пропускной способности. Главным преимуществом является сокращение пропускаемых поездов. Такой принцип работы очень выгоден за счет:

– повышения пропускной способности;

– увеличения графика движения;

– рост производительности локомотивов [4].

Но также здесь можно отметить и недостаток использования тяжеловесных поездов – технологическое время, затрачиваемое на работу данной категории поездов, гораздо больше, чем с поездами других категорий.

Исследованиями вопросов тяжеловесного движения в разное время занимались такие ученые как: Р. Аллен, С.И. Булыгин, В.А. Гапанович, Ю.А. Житенев, С. Калей, А.Ф. Колос, А.Б. Косарев, П. Ларсон, А.Ф. Лесун, А.Л. Лувишис, Д.Ю. Лукс, Д. Лундгрен, А.В. Дмитренко, И.О. Набойченко, С.А. Плахотич и др.

Для повышения эффективности грузоперевозок важную роль играет весовая норма грузового поезда. Увеличение данных норм необходимо для удовлетворения потребностей перевозок в рыночных условиях. Поезд повышенной массы превышает массу обычного поезда на 100 т, его также относят к грузовым поездам [7].

Самый первый грузовой поезд появился в Канаде (XX в.). В основном такие поезда используются для добычи руд, угля. Преимущества применения тяжеловесных поездов:

– грузоподъёмность;

– невысокие расходы;

– стоимость состава.

Но здесь проблема может быть во введении тяжеловесного поезда. Для железнодорожного движения это очень затратное дело. Устойчивость путей снижается из-за загруженности поезда. Тяжеловесное движение влияет на рельсы.

Пропускная способность тяжеловесного поезда оказывает влияние на провозную способность, а также на финансовые и временные затраты. Повысить массу поезда можно за счет:

– мощных локомотивов;

– кратной тяги [3].

Тяжеловесное движение влияет на рельсы. Высокая скорость поезда деформирует элементы рельсов. Многие элементы железной дороги строились много лет назад, соответственно технические нормы устарели. Например, фундаменты, они не рассчитаны на данные нагрузки. Обновлялись только верхние пути.

Вывод из строя дорожного полотно требует огромных затрат на восстановление. Состояние наземной среды может изменяться при нагрузке тяжеловесных поездов. Также нагрузки оказываются и на дорожное полотно.

Дорожный грунт имеет свойство быстро изменяться. Именно особенности дорожного грунта будут влиять на степень смещения пути. Также на железнодорожное полотно влияют такие экологические факторы как:

– температура;

– влажность;

– запыленность;
– вода;
– вибрации.

Из-за данных факторов безопасность движения подвергается определенным рискам. Именно деградация железнодорожных путей является основной проблемой при применении тяжеловесного движения, также проблемой является высокая стоимость технического обслуживания грузовых локомотивов [2, 6].

Длина полигонов движения тяжеловесных поездов составляет около 21 тыс. км, что занимает одну четвертую от всех путей (рис. 1).

Рис. 1. Полигон обращения тяжеловесных поездов ОАО «РЖД»

Для тяжеловесного движения применяются железобетонные и деревянные шпалы. Зазор в колее шпал должен быть в пределах ±12мм. Также очень часто из строя выходят сварные стыки при больших нагрузках. Рельсы выбираются исходя из осевой нагрузки и радиусу кривых (рис. 2).

Как уже отмечалось выше, длительное использование тяжеловесных поездов приводит к деформации путей и земного полотна. На начало 2022 года из 21 722,3 км, 1 861 км – это деформирующиеся участки (рис. 3).

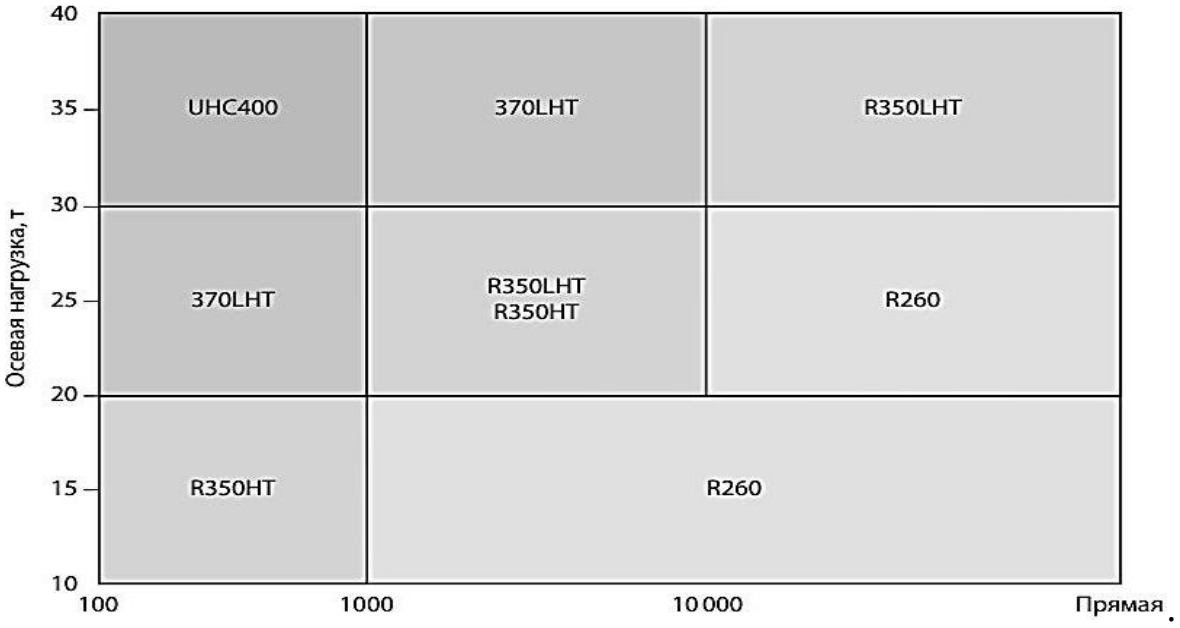


Рис. 2. UHC 400 – заэвтектоидные рельсы; 370LHT – легированные, с упрочненной головкой; R350LHT и R350HT – термоупрочненные; R260 – стандартные [2]

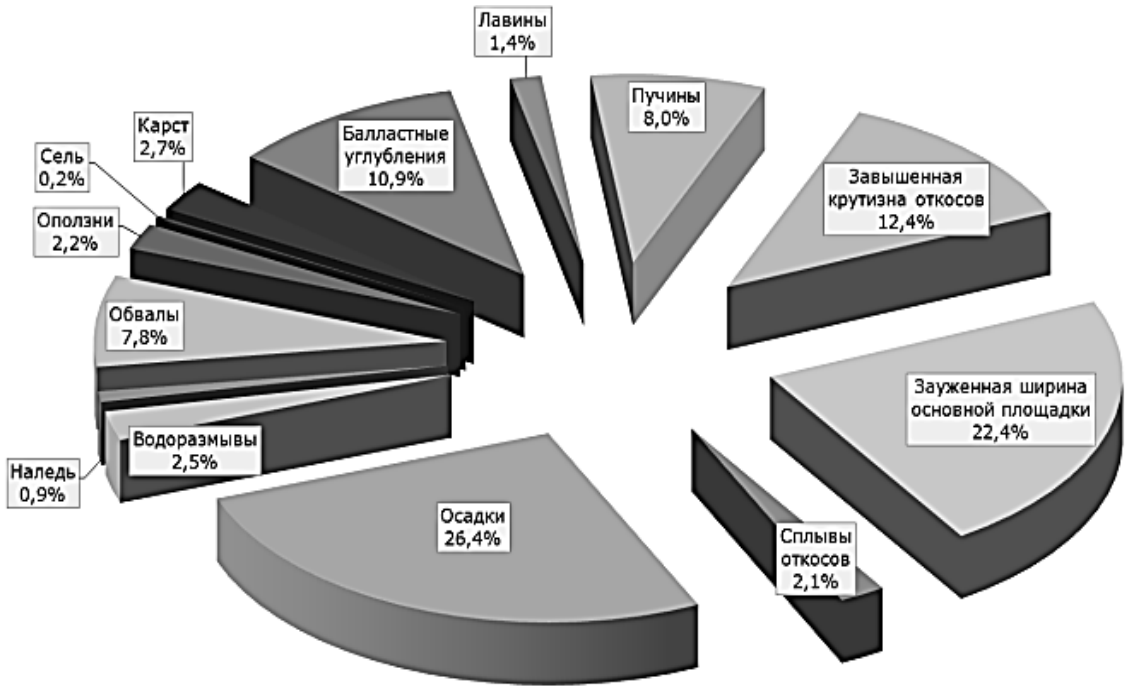


Рис. 3. Структура дефектов и деформаций земляного полотна на полигонах тяжеловесного движения на начало 2022 г. [8]

Особенности тяжеловесных поездов в РФ:

– места добычи полезных ископаемых находятся на большом расстоянии от мест погрузки;

– тяжеловесные поезда движутся по путям пассажирских поездов. При смешанном характере движения поездов изменяется дорожное полотно, такие пути рассчитаны только на вес обычных локомотивов.

– различные климатические условия;

– устаревший план и профиль пути;

– повышение веса поезда увеличивается за счет длины, а не осевой нагрузки [3].

В перспективе развития тяжеловесного движения требуется увеличить осевые нагрузки, а также повысить скорость движения. Для этого рекомендуется применять скрепления KZF-07M (рис. 4). Данное скрепление отличается надежностью, а также приемлемой ценой.

Рис. 4. Промежуточное рельсовое скрепление KZF-07M

Для того чтобы снизить напряженное состояние можно предложить следующее:

– внедрить улучшенные вагоны;

– использовать улучшенные технологии;

– для определения состояния тяжеловесного поезда использовать сеть детекторов.

Для того, чтобы использовать распределение силы на меньшее число шпал, нужно жесткое подрельсовое основание. Тогда при равной силе, сила, которая действует на шпалу, будет уменьшаться. При вибрации

поезда накапливаются остаточные осадки. Поэтому нужно уменьшить коэффициент трения для создания благоприятных условий [7].

Рассмотрим опыт применения шпал с упругими подкладками на примере Японии (рис. 5). Преимущества применения данных шпал

– уровень вибрации снижается на 50%;

– деформация путей сокращается в 2,5 раза;

– дробление щебня снижается на 20%;

– снижение осадок на 30%.

Рис. 5. Железобетонные шпалы с упругими прокладками

Таким образом, для продолжительной эксплуатации тяжеловесного движения необходимо следующее:

– разработка современных нормативных документов и технических регламентов по использованию железнодорожного полотна именно для тяжеловесных поездов;

– на путях тяжеловесного движения поездов улучшить систему обслуживания;

– контролировать состояние земляного полотна, также своевременно проводить диагностику;

– перед отправкой тяжеловесных поездов предварительно подготовить железнодорожные пути, усилить защитный слой земляного полотна, укрепить мосты и опоры.

Библиографический список

1. Гапанович, В. А. Вопросы взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры при тяжеловесном движении поездов / В. А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 10. – С. 9–15. – Текст : непосредственный.

2. Аева, М. А. Система единого планирования для всех видов транспорта / М. А. Аева, Е. В. Маловецкая // Инфраструктура и эксплуатация наземного транспорта : материалы международной студенческой научно-практической конференции: в 2 частях, Нижний Новгород, 10 апреля 2019 года / Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Нижнем Новгороде. – Нижний Новгород : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «21 век», 2019. – С. 11–16. – EDN QUOZQY. – Текст : непосредственный.

3. Захаров, С. М. Развитие тяжеловесного движения в мире / С. М. Захаров, К. П. Шенфельд // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – № 4. – С. 9–18. – Текст : непосредственный.

4. Косенко, С. А. Проектирование путевого развития станций и выбор конструкций верхнего строения пути для тяжеловесного движения поездов / С. А. Косенко, С. В. Богданович, С. С. Акимов // Вестник СГУПС. – 2018. – № 4 (47). – С. 21–29. – Текст : непосредственный.

5. Пехтерев, Ф. С. Перспективные полигоны обращения тяжеловесных поездов / Ф. С. Пехтерев // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 9. – С. 7–10. – Текст : непосредственный.

6. Скутина, О. Л. Конструктивно-технологические решения по сооружению земляного полотна в зоне вечномерзлых грунтов / О. Л. Скутина, А. И. Скурихин, Л. В. Федянина // Инновационный транспорт. – 2020. – № 1 (35). – С. 36–42. – Текст : непосредственный.

7. Совершенствование технологического обслуживания бесстыкового пути / С. А. Косенко [и др.] // Транспорт Урала. – 2016. – № 2 (49). – С. 44–47. – Текст : непосредственный.

8. Шарапов, С. Н. Рекомендации по усилению пути на линиях с тяжеловесным движением / С. Н. Шарапов, Э. П. Исаенко // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 7. – С. 2–7. – Текст : непосредственный.

9. Эксплуатационные измерения напряжений в рельсе при воздействии подвижного состава / С. А. Косенко, М. Я. Квашнин, И. С. Бондарь, С. С. Акимов // Известия Транссиба. – 2022. – № 2 (30). – С. 133–145. – Текст : непосредственный.

10. Дмитренко, А. В. Эффективные пути повышения среднего веса грузовых поездов / А. В. Дмитренко, Е. А. Ларченко, А. А. Еременко. – DOI 10.52170/1815-9265_2021_59_69 // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4 (59). – С. 69–74. – Текст : непосредственный.

11. Zhixiu Geng. Heavy-haul transportation technologias on Datong-Qinhuangdao Railway / Zhixiu Geng. – Beiging: China Railway Publishing House, 2009. – 539 p. – Текст : непосредственный.

12. Abhyuday, D. R. Cost reduction policies and driving behavior. Ir train drivers infl uencing diesel traction ener gy consumption / D. R. Abhyuday // Новые тенденции развития в управлении процессами перевозок, автоматике и инфокоммуникациях : труды Всероссийской научно-практической конференции транспортных вузов, инженерных работников и представителей академической науки с международным участием (Хабаровск, 29 сентября 2017 г.) / под редакцией А. И. Годяева. – Хабаровск : Издательство Дальневосточного государственного университета путей сообщения, 2017. – С. 19–35– Текст : непосредственный.

С.Д. Подолинная, Р.Г. Король
Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Россия

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИКИ В ПЕРИОДЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ

В связи с политической ситуацией в мире и экономическими санкциями, вводимыми Европейскими странами,большое внимание уделяется развитию параллельных и транзитных перевозок. В статье рассмотрен вопрос развития транспортно-логистической отрасли.

Ключевые слова: логистика, мировая экономика, санкции, экспорт, импорт.

В течение последних лет экономическая ситуация в стране крайне нестабильна. Пандемия коронавируса существенно повлияла на технологию организации перевозочного процесса. По данным сервиса InfraOne потери инфраструктурных отраслей составили более 500 млрд. руб., из них почти 50% пришлись на долю транспортной отрасли. Ситуация усложнилась также по причине действий региональных властей, которые имели право пересматривать сроки изоляции своих граждан в связи с эпидемиологической обстановкой. Примерные потери Российских транспортных компаний от коронавирусных ограничений приведены на рис. 1.[1]

По результатам исследования, отраженным на рисунке, можно заметить что существеннее всего пострадали перевозки на воздушном транспорте, потери которых достигают 50% от суммарных потерь транспортной отрасли.

В период коронавирусной инфекции, который составлял более двух лет, некоторые страны смогли не только свести к минимуму свои потери от закрытия границ, но также нашли способы автоматизировать свои технологические процессы. За период действия ограничительных мероприятий, многие транспортно-логистические цепи были разрушены или претерпели структурные изменения [2]. Сильнее всего пострадала экономика Китая, где введены строгие эпидемиологические меры, вследствие чего, происходит спад экономического развития.

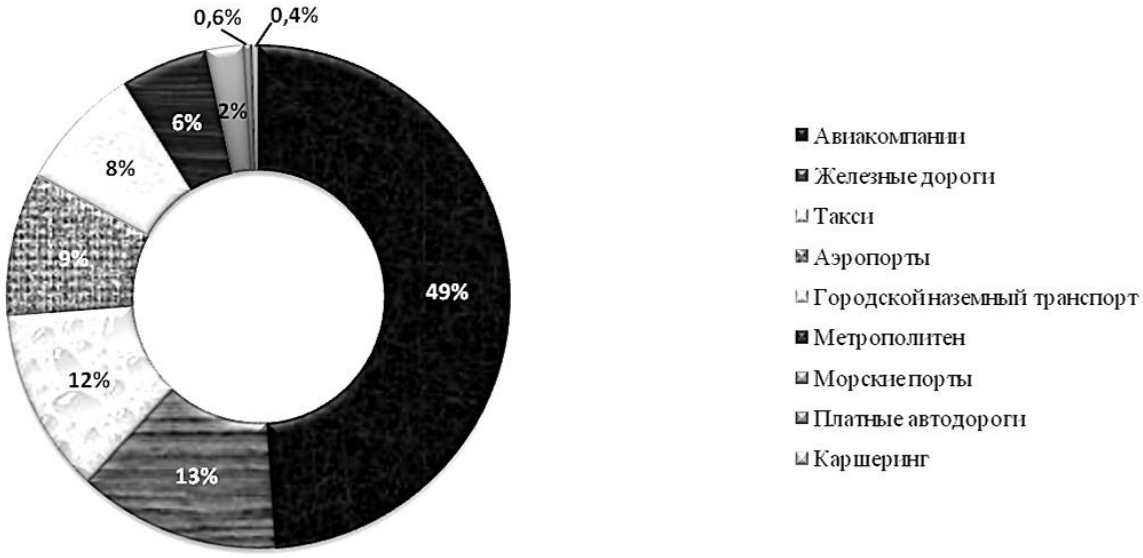


Рис. 1. Примерные потери Российских транспортных компаний

В Китайской Народной Республике (КНР) пострадали все виды перевозок. Были разрушены привычные мультимодальные схемы доставки грузов и пассажиров. Логистические компании были вынуждены в кратчайшие сроки искать альтернативу. В период эпидемии железнодорожный транспорт стал одним из основных способов перевозки грузов. По железным дорогам перевозилась большая часть медицинских грузов. Железнодорожные предприятия многих китайских провинций ввели круглосуточный режим работы для помощи заводам, фабрикам, строительным и торговым компаниям своевременно вернуться к работе. В феврале провинция Гуандун восстановил железнодорожное сообщение с Россией. Эффективную работу в условиях эпидемии показали таможенные службы КНР, которые сократили время оформления приоритетных грузов, открыли «зеленые коридоры» для грузов первой необходимости, сырья и запчастей. Многие таможни перешли на режим «сначала вы-

пуск – потом окончание таможенных процедур». Это также помогло возобновить работу предприятий и нормализовать внешнюю торговлю.

Состояние логистической отрасли в России в период пандемии пришло в упадок. Два основных грузопотока – в Китай и Европейские страны были существенно сокращены. Рынок авиаперевозок пришел в упадок из-за закрытия границ. По аналогии с Китаем Российское правительство пыталось вводить дополнительные меры экономической поддержки, такие как:

- налоговые каникулы для предпринимателей;
- отсрочки по выплате кредитов до 6 месяцев;
- субсидии банков;
- временная отмена арендной платы и т.д. [3]

Не смотря на все меры достичь показателей Китая России пока не удалось.

Китайская Народная Республика граничит с регионами Дальневосточного федерального округа, через который осуществляются торговые отношения Российской Федерации со странами Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). По итогам 2022 года на Дальнем Востоке пассажироперевозки снизились более чем на 40% на авиационном транспорте и почти на 25% на железнодорожном. При этом объемы перевозок грузов воздушным транспортом вырос более чем на 4%, железнодорожным почти на 1%, автотранспортом более чем 15%, а перевалка грузов в портах почти на 5%. Для сравнения в других округах данные показатели снизились от 3 до 13%[4].

В период пандемии стала активно развиваться электронная торговля, призванная минимизировать контакт населения друг с другом. На сегодняшний день после почти двух лет самоизоляции электронная коммерция продолжает набирать обороты, по данным опроса 2040 человек, около 95% из них совершают покупки через электронную торговлю. Кредитные карты используются во всем мире для отправки онлайн-платежей – они используются в 53% транзакций, за ними следуют цифровые платежные системы (43%) и дебетовые карты (38%)[5].

В феврале 2022 года Россию постигли экономические санкции со стороны Европейских стран. Закрытие границ существенно повлияло на экспортно-импортные перевозки, что неизбежно привело к росту цен на товары и услуги. Страна оказалась на гране экономического кризиса. Согласно данным Росстата индекс потребительских цен, являющийся аналогом западного ConsumerPriceIndex (CPI) и показывающий процент роста стоимости потребительской корзины за определенный промежуток времени, в марте 2022 года по сравнению с февралем соста-

вил 107,61%,по сравнению с декабрем 2021 г. – 109,95%, то есть стоимость потребительской корзины с декабря по март увеличилась на 9%. Для сравнения в период с декабря 2020 по март 2021 рост цен составил 2%.Рост потребительских цен на 8,0% и более зафиксирован в 32 субъектах Российской Федерации.

В Москве цены за месяц выросли на 7,2%, в Санкт-Петербурге – на 7,7% , на Дальнем Востоке – на 7,6 %[1,3].

Данные по индексу потребительских цен приведены на рис. 2.

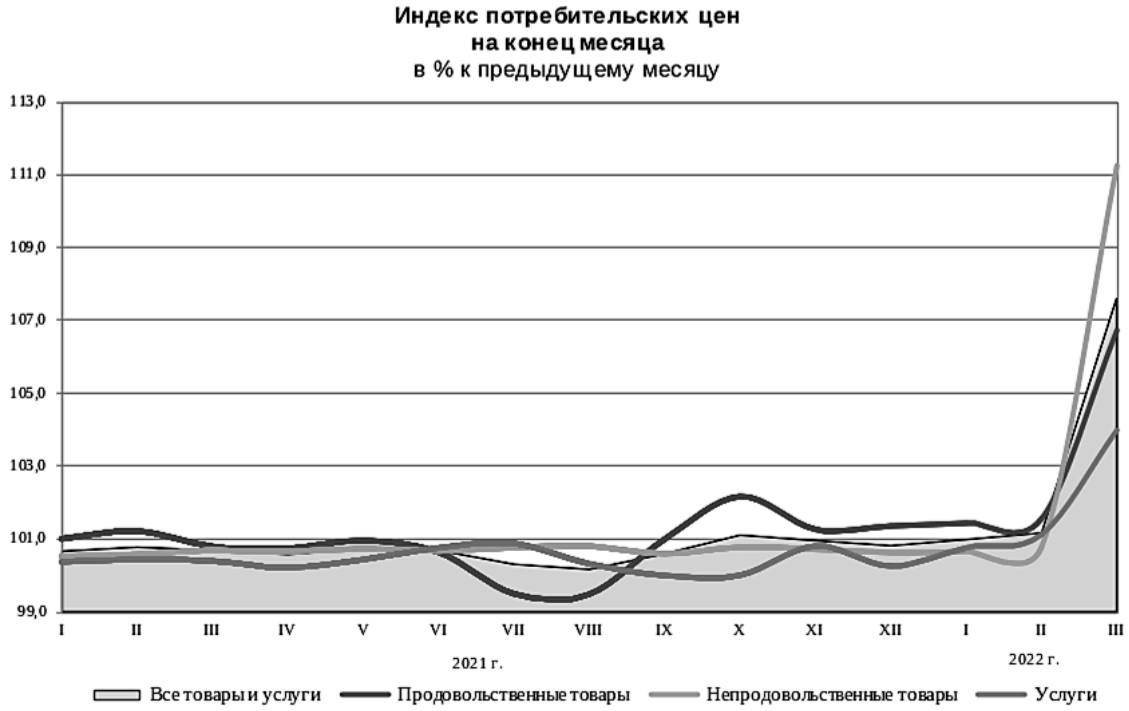


Рис. 2. Диаграмма роста потребительских цен

В январе-феврале 2022 г. внешнеторговый оборот России, по данным Банка России, составил148,3 млрд долларов США, из них экспорт – 96,0 млрд долларов, импорт – 52,3 млрд долларов. Динамика экспортно-импортных перевозок представлена на рис. 3, динамика грузооборота на рис. 4.

По состоянию на февраль 2022 года импорт по сравнению на 2021 увеличился на 25%, а экспорт на 60%. Динамика показывает положительный рост, что позволяет сделать вывод о восстановлении транспортной отрасли после периода эпидемии.

По данным, представленным на рис. 4, можно наглядно отследить динамику грузооборота с апреля 2022 года, который продолжал падать до июня 2022 года.

Рис. 3. Динамика экспортно-импортных перевозок в январе-феврале

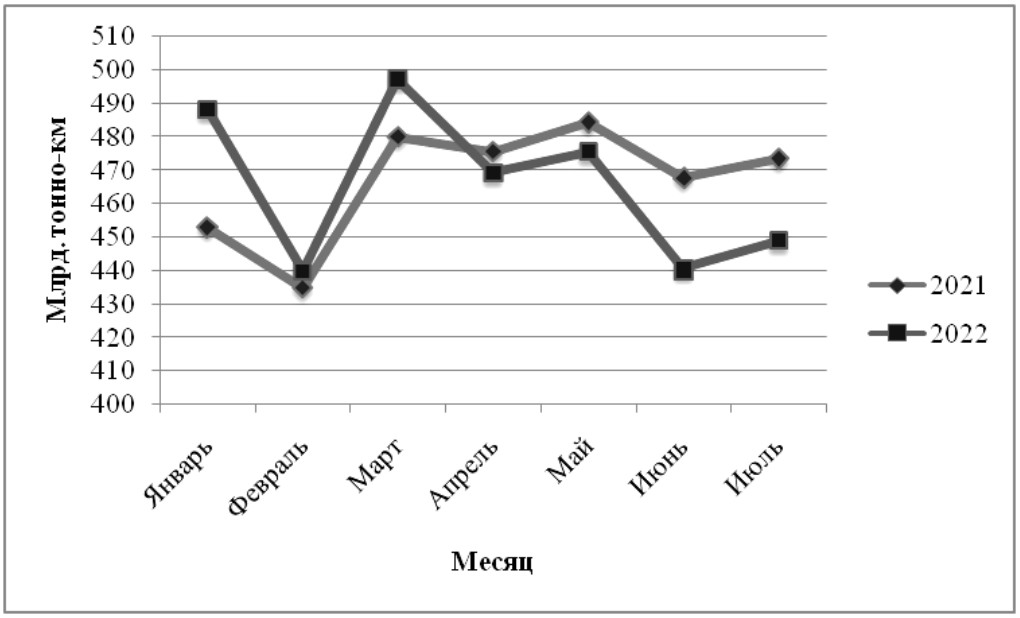


Рис. 4. Динамика грузооборота

Вследствие прекращения прямого сообщения России со странами Европы началось активное развитие параллельного импорта. Параллельный, или серый, импорт предполагает ввоз товара в страну без разрешения правообладателя, как правило, через третьи страны, которые выступают в качестве посредников. Схема прямого и параллельного импорта представлена на рис. 5.

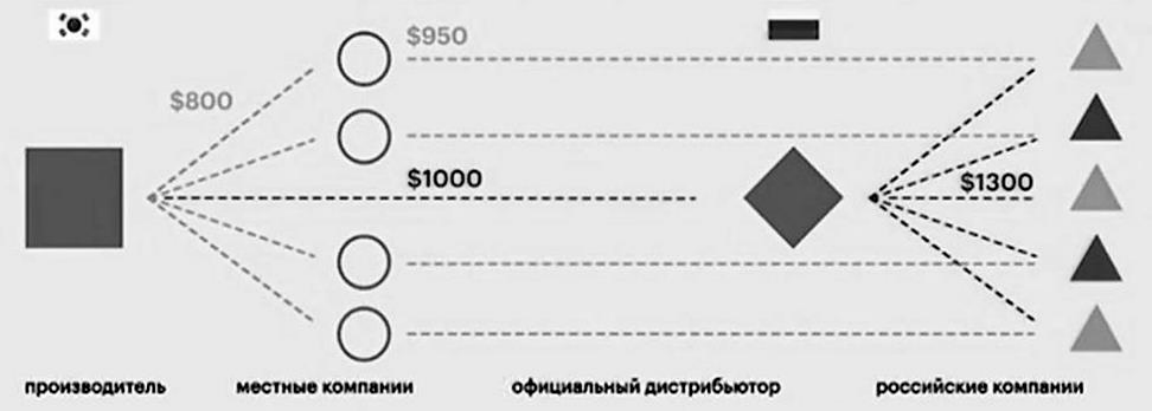


Рис. 5. Сравнение схем параллельного и прямого импорта

При параллельном импорте увеличивается плечо доставки, что ведет к удорожанию продукции, чем вызван резкий скачок стоимость продукции рассмотренный выше. Оптимизация логистической составляющей является одной из главных задач параллельной доставки товаров.

По состоянию на сентябрь 2022 года параллельный импорт было решено продлить на 2023 год, в связи с нестабильной политической и экономической обстановкой в мире. Также в июне 2022 года был подготовлен закон, легализующий параллельный импорт.

Дальний Восток является связующим звеном в процессе перевозки грузов через страны АТР, которые являются посредниками в параллельном импорте. На данный момент через Дальневосточный округ осуществляются массовые отправки грузов, что окажет существенное влияние на инфраструктуру, которая в последние годы находится в упадке [6]. При увеличивающемся грузопотоке через Дальний Восток это может стать серьезной проблемой, так как износ основных фондов в регионе достигает критического процента по сравнению с другими регионами страны. Поэтому развитие приграничной инфраструктуры является своевременной и актуальной задачей. Строительство приграничных транспортно-логистических центров позволит сократить время за счет комплексности технических операций, а также документального оформ-

ления[7]. ТЛЦ позволят осуществлять импортно-экспортные перевозки через страны АТР, что привлечет дополнительные инвестиции зарубежных и отечественных инвесторов.

Библиографический список

1. Социально-экономическое положение России / Федеральная служба государственной статистики. – URL : https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения 07.09.2022 г.) – Текст : электронный.

2. Куршева, С. Г. Исследование факторов устойчивости логистических цепей к различным воздействиям / С. Г. Куршева, Р. Г. Король // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2021. – № 2 (27). – С. 35–38. – Текст : непосредственный.

3. Меры по поддержке граждан и экономики в условиях санкций / Правительство Российской Федерации. – URL : http://government.ru/sanctions_measures/. (дата обращения 06.09.2022 г.). – Текст : электронный.

4. Социально-экономическое положение Дальневосточного федерального округа в 2021 году / Межрегиональная ассоциация экономического взаимодействия субъектов Российской Федерации «Дальний Восток и Забайкалье» (МАДВиЗ). – URL : http://assoc.khv.gov.ru/news/5398. (дата обращения 15.09.2022 г.). – Текст : электронный.

5. Статистика электронной коммерции и факты онлайн-покупок для 2020 / WebsiteRating. – URL : https://www.websiterating.com/ru/research/ecommerce-statistics-facts/. (дата обращения 08.09.2022 г.). – Текст : электронный.

6. Инфраструктура ДФО и ее развитие / InfraOneResearch. – URL : https://infraoneresearch.ru/fkh2ub/1dngo2?s1qtyk=1tjjkn. (дата обращения 06.09.2022 г.). – Текст : электронный.

7. Король, Р. Г. Формирование приграничной терминально-логистической инфраструктуры для организации контрейлерных перевозок на направлении Суйфэньхэ (КНР) – Гродеково (РФ) / Р. Г. Король // Известия Транссиба. – 2022. – № 1 (49). – С. 43–57. – Текст : непосредственный.

О.А. Посыльная
Лиховской техникум железнодорожного транспорта – филиал Ростовского государственного университета путей сообщения, г. Каменск-Шахтинский, Россия

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УСПЕХ В ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ, ГРУЗОВУЮ И КОММЕРЧЕСКУЮ РАБОТУ

Любое предприятия ставит цель своей деятельности, ожидаемый результат. Также определенные органы предприятия занимаются поиском путей решений по достижению цели. Но для этого для начала выделяют факторы, от которых зависит успех эксплуатационной деятельности. В статье рассматривается связь между вопросами организации, подготовки, обучения и роли науки в вопросах организации перевозок и управления движением поездов, а так же грузовой и коммерческой работе. Также рассматривается отдельная роль образования, науки и производства в эффективности организации перевозочного процесса.

Ключевые слова: организация, наука, образование, производство, факторы, перевозочный процесс, коммерческая работа, грузовая работа, результат.

Железнодорожный транспорт – движущая сила экономики Российской Федерации. Всем известный факт, что железнодорожные перевозки занимают 46% всего грузооборота России, а так же на его долю приходится более 25 % пассажирооборота страны. Исходя из этих данных, можно задаться вопросом: от каких факторов зависит коэффициент успеха организации перевозок, ведения коммерческой и грузовой работы.

В современном мире любая сфера деятельности имеет начальный этап – получение образования. Как ни странно многие считают, этот этап совершенно лишним. Отказ от образования и переход непосредственно к трудовой деятельности – это тенденция советского и постсоветского этапов. Да, безусловно, такой порядок организации работы показывал хорошие результаты на трудовой деятельности страны. Чем это можно объяснить? Ответ на вопрос носит простой характер. Нынешний мир стремится к высоким технологиям, постоянно что-то изобретает. Эти технологии бывают очень сильно сложны в использовании и понимании для человека. Весь мир переходит к компьютерам.

В раннее время, например, в СССР общество еще не переходило на информатизацию. Все механизмы были достаточно просты в использовании. Для начала трудовой деятельности достаточно было пройти практическую подготовку.

В наше время одной практики мало. Да, действительно ею нельзя пренебрегать, но и теорию нельзя исключать. Современные технологии требуют сначала познания, затем осознания и лишь потом переход к практике.

В таком же ракурсе можно рассмотреть и железнодорожный транспорт. В недалеком прошлом организация перевозочного процесса, коммерческой и грузовой работы не требовала столь мощной информационной нагрузки. Работа велась не так рационально как сейчас. В образовательных курсах студентов обучают ведению непосредственно рациональной организации своей трудовой деятельности, так же дают информацию как организовать работу менее затратно в отношении к ресурсам. А помогает все это осуществить введение новых технологий в эксплуатационную деятельность.

Сейчас ручной труд по организации перевозочного процесса, коммерческой и грузовой работы практически полностью заменяется информационными технологиями. Появились различные автоматизированные системы управления.

Для начала рассмотрим основные принципы организации перевозочного процесса и то, какой результат нам дает введение информационных технологий.

Первое: организация движения поездов по графику, рациональное использование пропускной способности линий, устройств и сооружений.

На современной железной дороге график движения создается виртуально, с помощью ГИД «Урал-ВНИИЖТ».

Такой способ организации, во-первых, отображается в режиме реального времени, во-вторых, экономит время и, в-третьих, дает более четкий результат показателей работы.

Второй принцип: оперативное планирование эксплуатационной работы. Этот принцип также поддался информатизации. Существует определенный ряд систем отвечающих за планирование работы.

Третий принцип: диспетчерское руководство в ведении эксплуатационной работе. Как и в каждой организации, ОАО «РЖД» имеет свой орган управления. Перевозочный процесс тоже. Диспетчерское руководство, благодаря введению автоматизированных рабочих мест,

вышло на новый уровень. Автоматизация данного процесса управления гораздо упростила работу, сделала ее более оперативной.

Для организации коммерческой и грузовой работы были созданы свои локальные автоматизированные рабочие места. Они позволили более точно вести отчётность и учетность, сокращают время коммерческих осмотров для выявления тех или иных неисправностей. Системы дают информацию о грузах, где они находятся, их характеристику, принадлежность и т.д.

Самое интересное, это то, что для подготовки будущих рабочих кадров данные системы используются в виде тренажеров-симуляторов. Это дает дополнительный эффект при подготовке специалистов. Данные АСУ (автоматизированные системы управления) высокотехнологичны, для их повседневного использования требуется предварительное изучение вопросов их эксплуатации, т.е. получение образования. Заранее подготовленный сотрудник в целом положительно влияет на планирование и ведение эксплуатационной деятельности всей организации.

Исходя из всего выше сказанного, мы получили часть ответа на вопрос: от каких факторов зависит коэффициент успеха организации перевозок, ведения коммерческой и грузовой работы? Итак, первый фактор – это образование.

Вторым фактором выдвигается наука. Рассмотрим ее роль. Анализ будем проводить на тех же АСУ. Современная Россия регулярно делает научные прорывы, тем самым упрощая жизнь и технологические процессы организаций.

Наука в области железнодорожного транспорта терпит огромные достижения. Нововведение АСУ распространилось пока что не на всех уровнях железнодорожного транспорта, а в местах их эксплуатации показало колоссальный результат. Казалось бы железнодорожный транспорт – это «грубая» организация, где идет речь только о железе и контактной сети. Но нет. Наука нашла свое место. Она позволила отказать от устаревших принципов организации работы, сделала железную дорогу более «легкой» в плане работы. Некоторые трудоемкие виды работ заменены роботами, компьютерами. Ведение постоянной массовой документации тоже потерпело ряд изменений и переход на облачное хранение информации. Большие тексты с описанием разных объектов железнодорожной инфраструктуры сокращены до числовых кодов.

И это далеко не все. Вмешательство науки положительно влияет на организацию перевозок и управления движением поездов, грузовую и коммерческую работу**.**

Сам процесс управления становится более облегченным и рациональным**.** Он теряет большой объем лишней информации, что гораздо сокращает ресурсы по его организации.

Выходит, что траты организации на поддержание научной деятельности, не только носят характер мецената, но и дают хороший результат и вклад в будущее той же организации.

В роли третьего фактора рассмотрим производство. Если быть точнее, то его ориентированность на результат. Что является результатом в данном вопросе? Это удовлетворение потребностей в перевозках (т.е. кол-во перевезенных грузов), удовлетворение потребностей в перемещении населения и получение прибыли.

Именно из-за того, что ОАО «РЖД» точно знает, какой результат ожидает от эксплуатационной работы, компания и имеет такой большой вес в экономике России. В организации производственной деятельности важно точно расставлять приоритеты. Можно рассмотреть локальный пример. Железнодорожный транспорт имеет определенную сезонность, имеется в виду наличие летнего периода. В этот период огромный спрос имеют пассажирские перевозки. Компания достаточно плотно занимается снабжением ресурсами (деньги, подвижные составы, работники) для удовлетворения потребностей в перемещении. Мы имеем большие траты, которые полностью окупаются и дают прибыльный результат.

То есть можно сказать, что организовывая эксплуатационную деятельность по перевозочному процессу, коммерческой и грузовой работе, ОАО «РЖД» не только занимается сухим получением прибыли, пренебрегая капиталовложениями в развитие, но и занимается непосредственным улучшением условий рабочей обстановки, расставляя приоритеты и точно разграничивая желаемые результаты.

В совокупности мы выделили 3 основных фактора, которые влияют на успех в организации перевозок и управления движением поездов, грузовую и коммерческую работу. Это образование, наука и производство.

Можно предположить, что все эти факторы параллельны и никак не зависят друг от друга. Это совершенно неверное предположение. Эти факторы находятся в прямо-пропорциональной зависимости. И лишь их полное сотрудничество дает предприятию желаемый результат.

Сейчас перевозочный процесс, коммерческая и грузовая работа достаточно сокращены в плане ресурсов для работы, благодаря научным вмешательствам. Но это не говорит о том, что с такой работой справится каждый второй. Нет. Благодаря образованию человек изначально учится способам упрощения своей деятельности. Он получает знания и умения в области организации деятельности. Он знает, какого результата ждет целая организация от его работы. В производстве образованный человек, который умеет использовать новые технологии становится частью успеха эксплуатационной деятельности организации.

Отсюда вывод, четвертым фактором является человек, его ум, его контроль. Перевозочный процесс все равно должен контролировать человек, оперативно реагировать на получение информации, управлять машинами. Ум человека позволяет также, как и введение технологий, повысить уровень качества работы организации по тем или иным показателям.

Поэтому важно внимательно подбирать персонал, обращать внимание на умственные, физические и психологические данные будущего работника. Нужно дружественно организовывать коллективную работу, чтобы перевозочным процессом управлял целый механизм, который состоит из коллектива, с подготовленными кадрами, которые отлично справляются с информационными технологиями и знают, какой результат им нужен.

Возможно, кто-то посчитает это неважной мелочью, но нужно понимать, что организация – это организм, в котором работа отдельных органов зависит от общей сплоченности.

Библиографический список

1. Муленко, О. В. Инфраструктура транспортных и логистических систем : учебное пособие / О. В. Муленко, К. А. Годованый. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2016. – 196 с. – ISBN 987-5-88814-485-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL : https://e.lanbook.com/book/129331 (дата обращения: 03.02.2021). – Режим доступа : для авторизированных пользователей.

2. РЖД ТВ : официальный сайт. – Москва. – URL : http://rzdtv.ru/ (дата обращения: 03.02.2021). – Текст : электронный.

3. Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта : официальный сайт. – Москва. – URL : https://www.vniizht.ru (дата обращения: 03.02.2021). – Текст : электронный.

4. Лавренюк, И. В. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте : учебное пособие / И. В. Лавренюк. – Москва : ФГБУ ДПО «УМЦ ЖДТ», 2017. – 242 с. – Текст : непосредственный.

5. Будрина, Е. В. Транспортно-экспедиционная деятельность : учебник и практикум для среднего профессионального образования / Е. В. Будрина [и др.]. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 370 с. – ЭБС Юрайт [сайт]. – URL : http://biblio-online.ru/bcode/453737. – Текст : электронный.

6. Григорьев, М. Н. Коммерческая логистика: теория и практика : учебник для среднего профессионального образования / М. Н. Григорьев, В. В. Ткач. – Издание 3-е, исправленное и дополненное. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 507 с. – ЭБС Юрайт [сайт]. – URL : http://biblio-online.ru/bcode/452730 – Текст : электронный.

7. Дмитренко, А. В. Эффективные пути повышения среднего веса грузовых поездов / А. В. Дмитренко, Е. А. Ларченко, А. А. Еременко. – DOI 10.52170/1815-9265_2021_59_69 // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4 (59). –С. 69–74. – Текст : непосредственный.

П.Е. Раевская
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

Н.В. Раевский
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

А.И. Папушева
Забайкальская железная дорога – филиал ОАО «РЖД»,
г. Шилка, Россия

МАЛОДЕЯТЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ В «РЖД»: ЧТО С НИМИ ДЕЛАТЬ?

В статье представлена актуальность перевода малодеятельных раздельных пунктов на определенную диспетчерскую централизацию с целью сокращения расходов.

Ключевые слова: железнодорожная станция, малодеятельная станция, диспетчерская централизация.

Одной из первоочередных задач транспортной отрасли на сегодняшний день является сокращение эксплуатационных расходов. Уменьшение объемов производства в регионах, а также ухудшение технической базы транспорта привело к проблеме эффективного использования инфраструктуры малодеятельных железнодорожных линий (МДЖЛ).

МДЖЛ – это железнодорожные линии с низкой грузонапряженностью, имеющие незначительные размеры пассажирского и грузового движения. На сегодняшний день по сети действуют более ста таких линий, общий штат составляет более десяти тысяч человек. Данные линии являются нерентабельными. По официальным данным их эксплуатационные расходы превышают три миллиарда рублей в год и на треть покрываются тарифными поступлениями от перевозок. Практически половина всех малодеятельных линий сети РЖД имеет социальное и оборонное значение, особенно в данный период времени.

На некоторых станциях не развита инфраструктура, отсутствуют автотранспортное сообщение, то есть, нет дорог федерального значения, также отсутствует жилищный фонд ОАО «РЖД». Такие пункты крайне непривлекательны в социальном плане: нет медицинских учреждений, муниципальных образований, детских садов. В связи с этим молодые специалисты категорически отказываются работать на данных раздельных пунктах, а существующие кадры планируют переводы на другие объекты.

Для более эффективного использования трудовых ресурсов, обслуживаемых движение на данных участках, с целью экономии затрат в том числе исключающих вмешательство «человеческого фактора» в действие устройств СЦБ, необходимо модернизировать МДЖЛ при выполнении работ:

– разработка дистанционных систем управления (СТУ) переводом стрелок и открытием сигналов;

– внедрение диспетчерской централизации для получения полной и достоверной информации о движении поездов и их прибытии в полном составе.

СТУ создана для управления с определенных станций стрелками и сигналами на малодеятельных раздельных пунктах, обгонных, а также постах примыканий.

Телеуправление применяется на объектах без постоянного дежурства персонала.

Применение диспетчерской централизации (ДЦ) представлено на рис. 1.

Рис. 1. Применение диспетчерской централизации

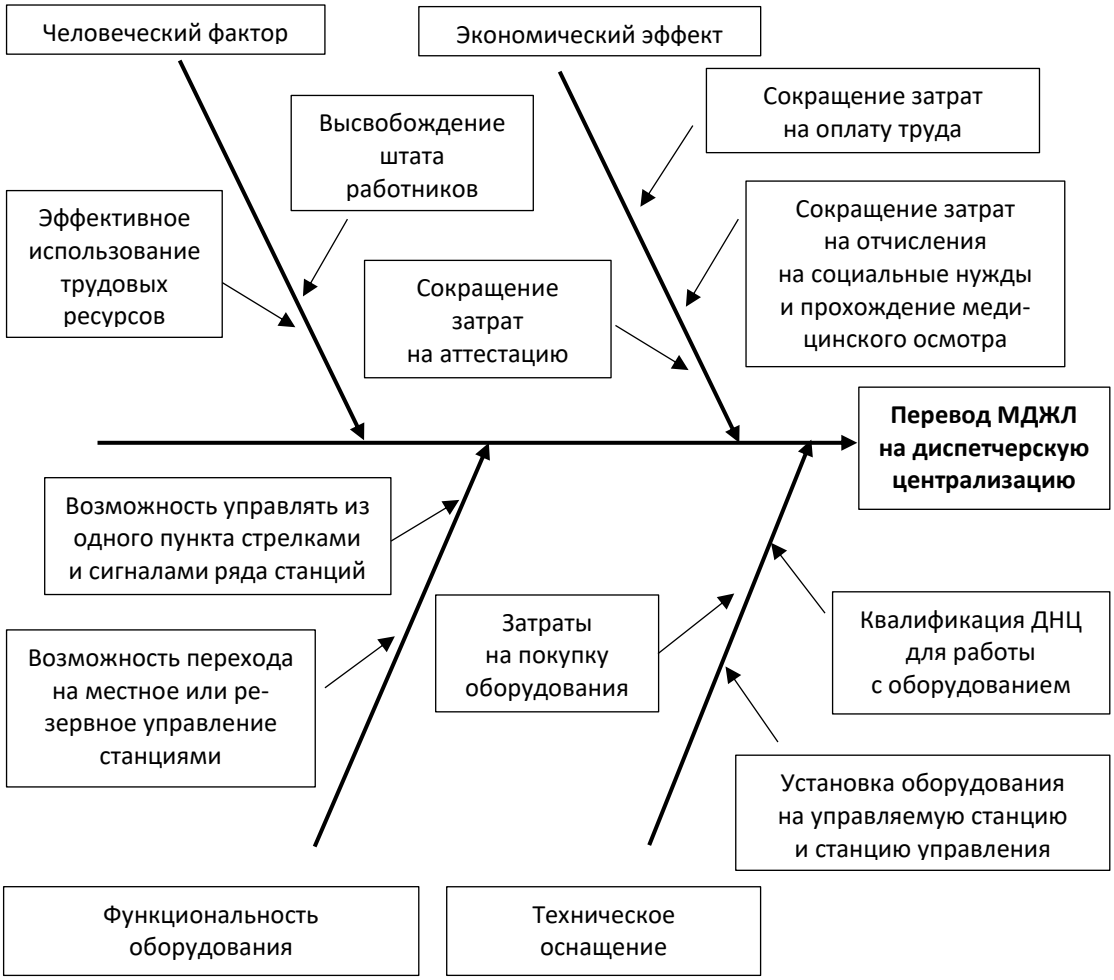


Рис. 2. Причинно-следственная связь перехода на диспетчерскую централизацию

Существует ряд причин, доказывающих необходимость перевода малодеятельной станции на ДЦ. На рис. 2 представлена диаграмма Иси-

кавы, на которой отображены факторы, обуславливающие переход на диспетчерскую централизацию.

Существующие микропроцессорные системы в ОАО «РЖД» представлены на рис. 3.

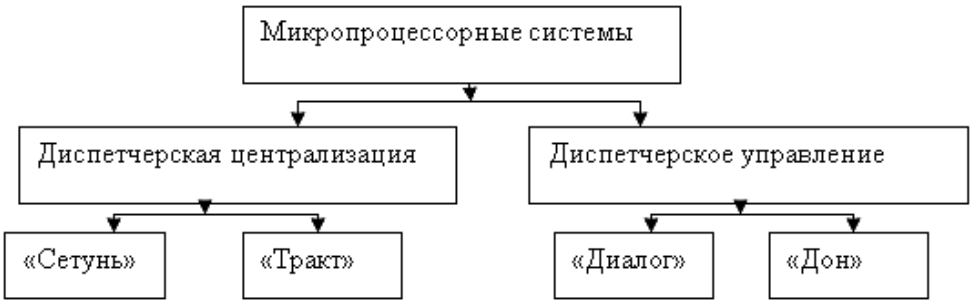


Рис. 3. Классификация микропроцессорных систем

В данных системах количество подключаемых контролируемых объектов не ограничено.

В связи с тем, что предлагается внедрить именно диспетчерскую централизацию на малодеятельных линиях, то необходимо сравнить два варианта:

– ДЦ «Сетунь»;

– ДЦ «Тракт».

Характеристики ДЦ представлены в матрице SWOT-анализа: в табл. 1 и 2.

В табл. 1 приведен SWOT-анализ ДЦ «Сетунь».

Таблица 1

SWOT-анализ ДЦ «Сетунь»

Сильные стороны:	Слабые стороны:
– непрерывный контроль поездной ситуации на участке в автоматическом режиме; – автоматическое управление движением поездов на участке при отсутствии отклонений от заданного графика; – прогнозирование возможного отклонения от заданного графика и выдача рекомендаций ДНЦ по предотвращению этого отклонения; –отображение и документирование ГИД, действий диспетчера и т.д. – контроль и отображение состояния путевых объектов; – управление скоростью движения поездов на участке в зависимости от поездной ситуации; –передача штатных и ответственных команд на линейные пункты.	–при реализации какой-либо команды ТУ сигнал появляется только на одном из управляющих выходов релейного дешифратора, соответствующего реализуемой команде.

Окончание табл. 1

Возможности:	Угрозы:
– математическая фильтрация поступающих сообщений с использованием традиционных способов повышения достоверности принимаемых сообщений; – современное графическое отображение поездного положения; – использование инструментальных систем реального времени, обеспечивающих легкую расширяемость и настройку программного продукта на любой диспетчерский участок; применение «горячего» (автоматического) и «холодного» резервирования; – контроль входной и выходной информации производится автоматически.	– приемные устройства через распределитель связываются с выходными цепями табло ДНЦ. Если какой-либо блок-участок занят, то на соответствующем шаге распределителя с одной из станций сигнал контрольной частоты не поступит, а на табло ДНЦ включится соответствующая лампочка, сигнализирующая ДНЦ о занятости блок-участка.

В табл. 2 приведен SWOT-анализ системы ДЦ «Тракт».

Таблица 2

SWOT-анализ ДЦ «Тракт»

Сильные стороны:	Слабые стороны:
– сбор информации о поездном положении на всех ЛП; – передачу информации с ЛП на ЦП; – выполнение команд телеуправления на ЛП; – тестирование всего комплекса и выдачу сигналов неисправностей его функционирования с точностью определения до сменной единицы на монитор АРМ электромеханика; – прием на ПУ информации о поездном положении и выдачу ее на экраны мониторов АРМ ДНЦ, АРМ ЭЧЦ и АРМ ШЧД; – принятие решений о выполнении команды телеуправления, поступившей из ПУ на контролируемом пункте в зависимости от поездного положения; – архивирование результатов работы всех узлов системы; – автоматическое ведение ГИД; –связь со смежными автоматизированными системами управления и контроля: автоматизированной системой.	– когда узел сети получает сообщение, производится тестирование на совпадение идентификатора с учетом маски. Если идентификатор совпал, то содержимое сообщения обрабатывается, иначе игнорируется. Этот режим работы известен как множественное распределение. Уникальный идентификатор определяет также приоритет сообщения. Передача низкоприоритетных сообщений задерживается.

Окончание табл. 2

Возможности:	Угрозы:
– возможность неограниченного расширения функций с ориентацией на перспективу развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики, что расширяет регионы и сферы применения; – возможность расширения своих функций и состава аппаратных средств как на пункте управления, так и на контролируемых пунктах.	– приемные устройства через распределитель связываются с выходными цепями табло ДНЦ. Если какой-либо блок-участок занят, то на соответствующем шаге распределителя с одной из станций сигнал контрольной частоты не поступит, а на табло ДНЦ включится соответствующая лампочка, сигнализирующая ДНЦ о занятости блок-участка.

Анализируя сравнительную характеристику систем и учитывая все функции, преимущества и недостатки, предпочтение следует отдать системе ДЦ «Тракт», поскольку данная система более надежна, за счет такой важной функции, как резервирование.

После выбора оптимальной системы была рассмотрена технология ее внедрения на четырех малодеятельных раздельных пунктах на полигоне железной дороги. Работу данных станций взяли на себя опорные. Данный факт подтверждается разработкой суточного плана графика работы опорных станций и определение их показателей. Все результаты были подтверждены экономическими расчетами. Рассчитанный срок окупаемости доказал эффективность данного предложения.

При выполнении оптимизации в транспортной отрасли возникает необходимость перераспределения существующей работы на другие объекты. Данная мера является следствием сокращения объемов перевозок, изменением технологии работы.

Библиографический список

1. Телемеханические системы управления движением поездов : учебное пособие. – Хабаровск : Издательство ДВГУПС, 2005. – 62 с. – Текст : непосредственный.

2. Системы регулирования движения на железнодорожном транспорте : учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Л. А. Кондратьева, О. Н. Ромашкова. – Москва : Маршрут, 2003. – 432 с. – Текст : непосредственный.

3. Об утверждении Регламента эксплуатации и обслуживании инфраструктуры на малоинтенсивных железнодорожных участках : распоряжение ОАО «РЖД» от 17.05.2017 № 944р». – Текст : непосредственный.

4. Диспетчерская централизация / В. М. Лисенков // Большая российская энциклопедия [в 35 томах], 2005–2017. – Текст : непосредственный.

5. Запрос № ШЦ59/47 от 28 января 2021 г. – о стоимости оборудования (по ценам генерального поставщика) ДЦ «Тракт». – Текст : непосредственный.

6. Грищенко, А. М. Современное состояние и проблематика организации движения поездов на малодеятельных железнодорожных линиях / А. М. Грищенко // Молодой ученый. – 2021. – № 18 (360). – С. 86–87. – Текст : непосредственный.

7. Вакуленко, С. П. Эффективность эксплуатации и обслуживания малоинтенсивных железнодорожных линий : монография / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Н. Ю. Евреенова, Д. Ю. Роменский, К. В. Голиков. – Москва : ВИНИТИ РАН, 2018. – 218 с. – Текст : непосредственный.

Е.Н. Светлакова, Е.В. Мартемьянова, Х.С. Шулаева
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

АНАЛИЗ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД СТ. ЧИТА 1 ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Одним из важнейших аспектов организации железнодорожных перевозок является организация труда и отдыха локомотивных бригад.

Важнейшими условиями правильной организации работы локомотивных бригад являются строгое соблюдение установленного времени непрерывной работы, своевременная смена локомотивных бригад и стремление к исключению непроизводительных потерь рабочего времени локомотивных бригад.

В статье рассматривается анализ нарушений в использовании рабочего времени локомотивных бригад и причин, которые к этому приводят с использованием методов и инструментов улучшения.

Ключевые слова: локомотивные бригады, отказы технических средств, Z-график, нормы рабочего времени.

Забайкальская железная дорога является важным элементом Восточного полигона, от слаженной организации пропуска поездов на участках своей дороги зависит работа четырех дорог.

В настоящий момент на железных дорогах Восточного полигона одной из важнейших проблем является рациональное распределение рабочего времени локомотивных бригад. [1]

Совершенствование работы локомотивных бригад невозможно без четкого понимания проблем и причин вызывающих эти проблемы. На примере станции Чита 1 Забайкальской железной дороги проведен анализ использования рабочего времени локомотивных бригад. Статистика показывает, что на дороге довольно много случаев отправления локомотивных бригад с превышением накладного времени.

В грузовом виде движения допущено 49025 случаев отправления локомотивных бригад с поездом при превышении накладного времени, отмечается рост на 6786 случаев или на 16,1% к уровню прошлого года (2020 год – 42239 случаев).

Для наглядного и эффективного проведения анализа данных использован один из методов и инструментов улучшений деятельности – «Z-график» [5,6].

Для анализа построен «Z-график», который представлен на рис. 1.

При проведении анализа особенностей и закономерности выявлено, что в 2021 году наблюдается тенденция к увеличению показателя, пиковые значения показателя наблюдаются в летний период. Значения показателя большую часть года превышали значение показателя в соответствующем месяце предыдущего года.

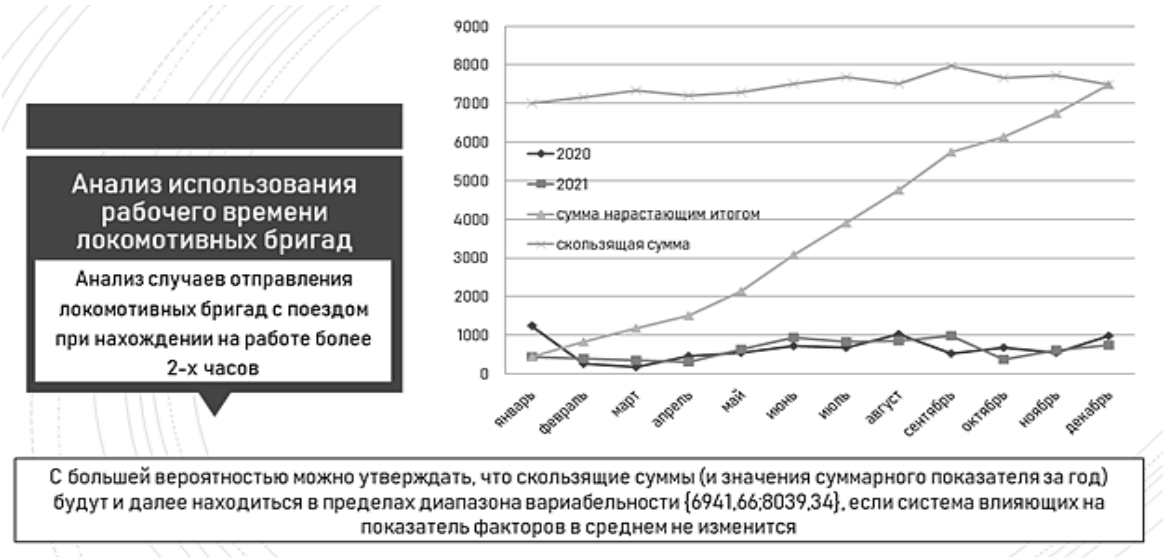


Рис. 1. «Z-график», станция Чита I

Необходимо определить диапазон вариабельности показателя, который рассчитывается поэтапным нахождением минимального значения скользящей суммы, среднего арифметического значения выборочного i-го значения и выборочного стандартного отклонения показателя [6]:

– минимальное значение скользящей суммы было получено в январе и равнялось 7015 единиц, максимальное в сентябре – 7966. Таким образом, диапазон вариабельности равен $\left\{\min_{i=1,12} x_i ; \max_{i=1,12} x_i\right\}$={7015;7966};

– среднее арифметическое значение $\bar{x}$ определяется по формуле (1)

$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i , \qquad (1)$$

где x_i – выборочное i-ое значение показателя;

n – число i-х значений показателя.

$$\bar{x}=\frac{7015+7153+7336+7202+7291+7514+7676+7506+7966+7656+7720+7482}{12}=7490,5;$$

– выборочное стандартное отклонение находится по формуле (2)

$$s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}, \qquad (2)$$

$$s=\sqrt{\frac{828345}{12-1}}=\sqrt{75304,09}=274,42;$$

– диапазон вариабельности равен {7490,5-k×274,42;7490,5+k×274,42}, что при k=2 равняется {6941,66;8039,34}.

Таким образом, с большей вероятностью можно утверждать, что скользящие суммы (и значения суммарного показателя за год) будут и далее находиться в пределах {6941,66;8039,34}, если система влияющих на показатель факторов в среднем не изменится.

Основными причинами нарушения накладного времени в 2021 году явились (причины пронумерованы для удобства построения диаграммы Парето):

– причина 1 – неисправность локомотива после проведения ТО-2, неисправность локомотива в парке станции при приемке поездной локомотивной бригадой – 3237 случаев;

– причина 2 – ожидание локомотива – 2542 случая;

– причина 3 – размен локомотива – 1359 случаев;

– причина 4 – нехватка инструмента – 280 случаев;

– причина 5 – ожидание локомотивной бригады – 530 случаев;

– причина 6 – превышение времени от явки до прохождения контрольного поста (долгий прием локомотива, занятость тракционных путей) – 1246 случаев;

– причина 7 – неисправность пескоподачи – 234 случаев

– причина 8 – неготовность локомотива с ТО – 417 случаев;

– причина 9 – длительное торможение – 390 случаев;

– причина 10 – ожидание технической готовности поезда, устранение центров, смена приборов, ремонт вагона (ответственность службы вагонного хозяйства «В») – 1952 случая, превышение нормативов на отцепку неисправных «больных» вагонов (ответственность службы вагонного хозяйства «В») – 1543 случая, общее количество – 3495 случаев;

– причина 11 – неправильная регулировка ДНЦ, пропуск преимущественных поездов (из-за отказов технических средств) – 5270 случаев;

– причина 12 – по станции Забайкальск случаи были допущены по причине превышения норм погранично-таможенного досмотра (неприем КНР) (локомотивы, следующие с выводными экспортными поездами) – 4781 случай;

– причина 13 – неисправность устройств пути, ремонт, монтаж устройств

– пути, стрелочного перевода, передержки «окон», последствия сходов поездов реконструкция восточной горловины на станции Карымская, запрессовка стрелок снегом и др. (ответственность службы пути «П») – 4144 случая;

– причина 14 – прочие (неверный ввод информации; локомотивные бригады прогрева, работающие по передислокации локомотивов между станциями Белогорск–Белогорск-2, для проведения плановых видов ремонта, отцепка вагонов по температурному режиму, последствия ДТП, размыв пути и т.д.) – 820 случаев;

– причина 15 – с грузовыми поездами в подталкивании на станциях Кадала, Борзя, Чита I – 1074 случая;

– причина 16 – устранение коммерческих браков – 449 случаев;

– причина 17 – отсутствие напряжения, излом токоприемника и др. (ответственность дирекции по энергообеспечению «НТЭ») – 583 случая;

– причина 18 – неисправность контрольной точки и др. (ответственность службы автоматики и телемеханики «Ш») – 748 случаев;

– причина 19 – передержка окна, нарушение технологии проведе-

ния работ (ответственность дирекции по ремонту пути «ДРП») – 449 случаев.

Диаграмма Парето приведена на рис. 2.

Из построенной диаграммы Парето следует, что наибольшее влияние на допущение случаев отправления локомотивной бригады с поездом при нахождении на работе более 2-х часов оказывают причины 11, 12, 13, 10, 1, 2.

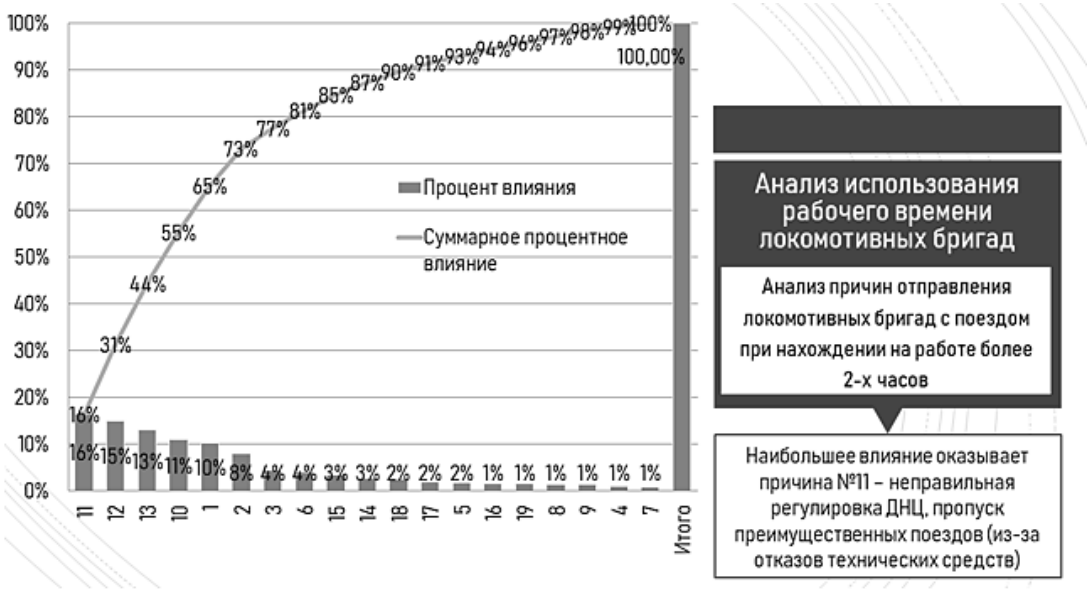


Рис. 2. Диаграмма Парето

Огромное влияние на движение поездов в целом и в том числе на допущение данных случаев оказывают отказы технических средств.

Всего в 2021 году допущено 10997 случаев отказов технических средств, приведших к задержкам грузовых поездов (в 2020 году – 11817 отказов). В результате задержано 73540 грузовых поездов на 64584 часа (2020 год – 53453 поезда на 45558 часов).

Наибольшее число отказов технических средств в 2021 году возникло по вине службы пути «П» – 5264 случаев. Задержано 45015 грузовых поездов на 32327 часов (2020 год – 30548 поездов на 19502 часа).

Все это требует поиска новых методов организации работы локомотивных бригад, снижающих накладное время, для этого необходимо оптимизировать процесс вызова бригад и внедрять разные методы работы, например – работа по именным расписаниям. Составление именных расписаний позволяет достичь наилучших условий труда и отдыха локомотивных бригад, так как их работа будет строго регламентирована

на основе графика движения поездов. За счет рассчитанного фиксированного времени оборота бригады по каждому маршруту и устранения нерационального использования рабочего времени – рабочее время оборота бригад уменьшается, следовательно, уменьшается потребное число бригад при неизменных размерах движения поездов. Работа по именным расписаниям позволит исключить недостатки, представленные на рис. 3.

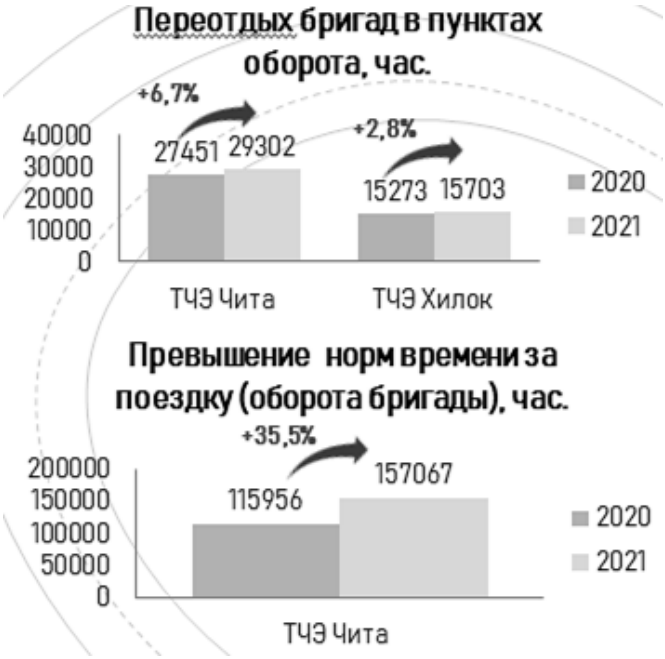


Рис. 3

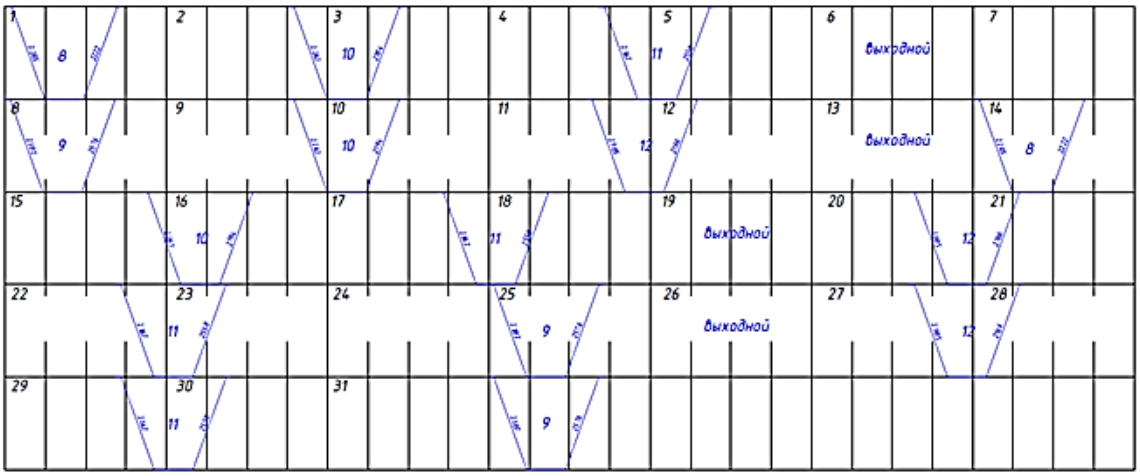


Рис. 4

На рис. 4 представлен пример именного графика локомотивной бригады, обслуживающей участок Чита 1 – Хилок, на месяц.

Незначительные затраты на разработку и внедрение именных графиков влекут за собой:

- привлечение крупных компаний, заинтересованных в своевременной, быстрой доставке грузов
- повышение конкурентоспособности ОАО «РЖД» на рынке транспортных услуг за счет обеспечения контроля выполнения графика движения грузовых поездов подобно контролю за выполнением расписания пассажирских поездов, что позволит осуществлять доставку грузов точно в срок
- максимальное улучшение организации труда и отдыха локомотивных бригад.

Библиографический список

1. Суханов, Г. И. Распределение времени при организации работы локомотивных бригад / Г. И. Суханов, А. В. Супруновский // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 3(13). – С. 140–147. – Текст : непосредственный.

2. Стандарт ОАО «РЖД». Методы и инструменты улучшений. Формат корректирующих действий [утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 02.06.2009 г. № 1150р.]. – Текст : непосредственный.

3. Стандарт ОАО «РЖД» СТО 1.05.515.6-2009 «Методы и инструменты улучшений. Z-график и исследование вариабельности». – URL : https://docplayer.com/34508741-Standart-oao-rzhd-sto-metody-i-instrumenty-uluchsheniy-z-grafik-i-issledovanie-variabelnosti.html (дата обращения: 08.02.2022). – Текст : электронный.

4. Об утверждении особенностей режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда отдельных категорий работников железнодорожного транспорта общего пользования, работа которых непосредственно связана с движением поездов : приказ Минтранса России от 09.03.2016 № 44 (ред. от 01.08.2019) // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_199662/ (дата обращения: 10.09.2022). – Текст : электронный.

5. Ларченко, Е. А. Оценка качества внедрения корректирующих мероприятий, направленных на снижение расходов из-за задержки поездов по вине локомотивных бригад / Е. А. Ларченко, А. В. Ларченко, А. А. Еременко // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Том 2. – С. 62–65. – Текст : непосредственный.

Е.Н. Светлакова, Х.С. Шулаева
Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Россия

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫЗОВА ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД НА ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ КАК ЭЛЕМЕНТ АСУ СТ

Взаимоувязанная и слаженная работа всех звеньев железнодорожного транспорта обеспечивает безопасность, безаварийность и бесперебойность перевозок. Проект «Цифровая железнодорожная станция» выводит процесс работы станции на новый уровень за счет внедрения современных цифровых технологий.

Одним из важнейших аспектов организации железнодорожных перевозок является организация труда и отдыха локомотивных бригад. Локомотивная бригада обычно состоит из двух человек – машиниста и его помощника. Машинист отвечает за управление локомотивом и его техническое состояние в соответствии с действующими правилами и инструкциями.

Важнейшими условиями правильной организации работы локомотивных бригад являются строгое соблюдение установленного времени непрерывной работы, своевременная смена локомотивных бригад и стремление к исключению непроизводительных потерь рабочего времени локомотивных бригад.

В статье рассматривается создание нового функционала «Цифровой железнодорожной станции», способствующего совершенствованию организации труда и отдыха локомотивных бригад.

Ключевые слова: цифровая железнодорожная станция, модуль планирования, локомотивные бригады, автоматизированные системы.

Проект «Цифровая железнодорожная станция» является частью проекта «Цифровая железная дорога», который в свою очередь содержит все направления национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». «Цифровая железнодорожная станция» – это проект внедрения современных цифровых технологий, который позволяет автоматизировать и оптимизировать процессы работы станции при минимальном участии человека.

Одним из основных модулей «Цифровой железнодорожной станции» является модуль планирования. Модуль планирования отвечает за множество аспектов планирования работы железнодорожной станции, в

том числе её взаимодействия с другими подразделениями. В процессе планирования работы локомотивной бригады главным моментом является рациональное использование рабочего времени бригады, исключающее непроизводительные потери. Организация труда и отдыха локомотивных бригад непосредственно влияет на безопасность и безаварийность железнодорожных перевозок, так как машинист и его помощник отвечают за управление локомотивом и за его техническое состояние.

В настоящее время на станциях сети железных дорог внедрены системы АСУ СТ, ГИД «Урал-ВНИИЖТ», обеспечивающие комплексную автоматизацию технологических последовательностей операций с созданием полного набора автоматизированных рабочих мест для работников, принимающих участие в организации перевозочного процесса, ведение поездной и вагонной моделей станции, формирование основных показателей работы станций, в частности, данных по расчлененному простою.

Задачи, решаемые АСУ СТ, ГИД «Урал-ВНИИЖТ» – это информационное и технологическое сопровождение производственного процесса.

Существенными недостатками данных систем являются отсутствие управляющих элементов, частично ручной ввод информации о технологических операциях на станции, недостаточные функции планирования для реализации проекта «Цифровая железнодорожная станция».

В настоящее время при наличии различных устройств и систем автоматизации и централизации контроля и управления ни одна из систем не формирует полноценную модель цифровой станции в режиме онлайн, а также полностью не автоматизирует процесс осуществления технологических операций на станции.

Железнодорожная станция Чита-I осуществляет взаимодействие с эксплуатационным локомотивным депо Чита-I (далее – ТЧЭ-3). Работа локомотивных бригад приписки ТЧЭ-3 организована по системе накладных плеч. Накладная езда распределяет объемы поездной работы между смежными основными депо дороги. Для каждого участка работы локомотивных бригад в пределах дороги региональными дирекциями тяги устанавливается долевой норматив в процентном отношении обслуживания грузовых поездов по каждому депо. Долевое участие работы локомотивных бригад приписки ТЧЭ-3 на закрепленных участках представлено в Таблице [1, 2].

Основные плечи обращения локомотивных бригад на Забайкальской железной дороге и дома отдыха локомотивных бригад (далее – ДОЛБ) с количеством койко-мест представлены на рис. 1. Пункты смены локомотивных бригад располагают так, чтобы обеспечивались усло-

вия нормальной продолжительности работы локомотивных бригад. ДОЛБ предназначены для восстановления после рейсов, рационального питания и функциональной разгрузки машинистов и их помощников во время ожидания обратной поездки в пунктах смены. В каждом ДОЛБ предусматриваются столовая для круглосуточного обеспечения отдыхающих локомотивных бригад горячим питанием, гардеробная, душевая, спальные места, комната занятий физкультурой, кабинет психологической разгрузки и др.

Таблица

Долевое участие работы локомотивных бригад приписки ТЧЭ-3 на закреплённых участках

Основное депо приписки бригад	Участок	Протяженность, км	Вид тяги	Способ обслуживания участка	Доля, %
Чита	Чита – Хилок	261,2	Электровоз	По системе накладных плечей	35
	Чита – Карымская	100,1	Электровоз	По системе накладных плечей	80

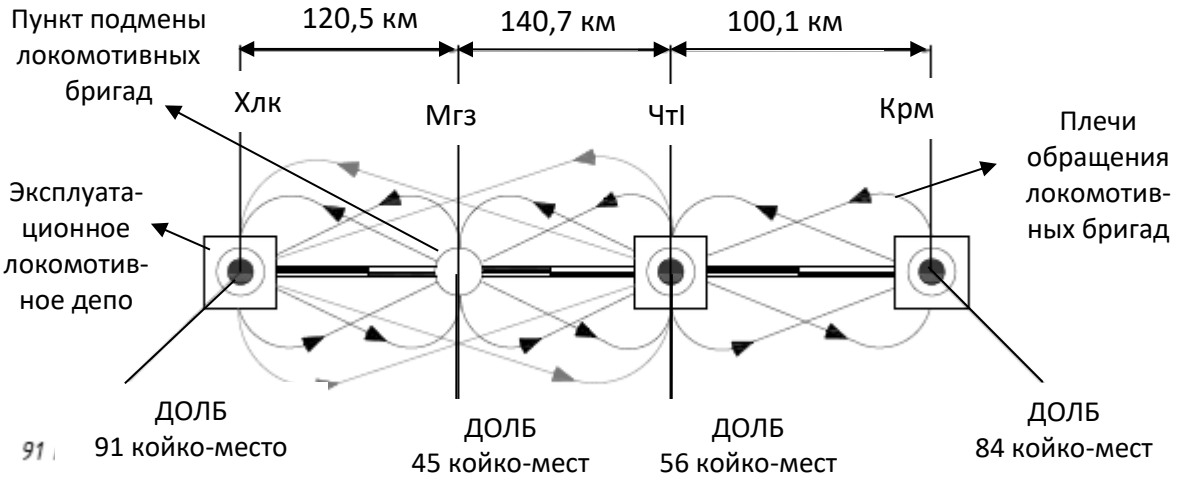


Рис. 1. Основные плечи обращения локомотивных бригад

На Забайкальской железной дороге применяется вызывная система локомотивных бригад, которая предусматривает явку бригады поездку по вызову нарядчика при назначении поезда. Вызывная система обеспе-

чивает бригадами все поезда при любых изменениях графика движения поездов. Основными недостатками применяемой системы являются отсутствие плана работы локомотивных бригад с невозможностью заблаговременного планирования и прогнозирования отдыха после поездки и выходных дней, бригада постоянно находится в ожидании вызова на работу, требуется штат нарядчиков, которые планируют контингент локомотивных бригад на сутки и вызывают их в поездку.

Оперативное планирование локомотивных бригад на прогнозируемые объемы перевозок связано не только с отправлением поездов со станции, но и с оперативной регулировкой локомотивного парка и рациональной организацией труда и отдыха локомотивных бригад по участкам обращения.

В настоящее время сменно-суточное планирование контингента локомотивных бригад осуществляется в течение предшествующих суток на периоды с 18-00 часов до 06-00 часов и с 06-00 часов до 18-00 часов московского времени на основании предоставленных данных от ответственного работника диспетчерского центра управления перевозками (далее – ДЦУП), от начальника отдела планирования «окон» по ремонту инфраструктуры, из автоматизированных систем. Работниками ДЦУП региональной дирекции управления движением выполняется расчет потребности локомотивных бригад на предстоящие сутки. В соответствии с расчетами формируется суточный наряд-заказ на выдачу локомотивных бригад.

Временной бюджет локомотивной бригады, включенной в явочный штат, можно разделить на несколько составляющих: рабочее время, время отдыха в оборотном и в основном депо, время выходных дней.

В рабочее время работников локомотивных бригад грузового и пассажирского, пригородного движения включается:

– время на подготовку к работе (время прохождения инструктажа, предрейсовых медицинских осмотров, прохождение алкометрии);

– время на приемку и сдачу локомотива;

– время, непосредственно затрачиваемое на выполнение основной трудовой функции – ведение поезда;

– время ожидания и следования пассажиром;

– время ожидания работы.

Рабочее время бригады считается от момента явки к месту постоянной работы и до сдачи локомотива.

Рабочий оборот локомотивной бригады – это время работы локомотивной бригады по обслуживанию пары поездов. Схема оборота бригады представлена на рис. 2.

Рабочий оборот локомотивной бригады – это время работы локомотивной бригады по обслуживанию пары поездов.

Полный оборот локомотивной бригады включает:
- время приема локомотива соответственно в основном и оборотном депо;
- время следования по участку работы бригады с поездом;
- время отдыха бригады в оборотном депо;
- время сдачи локомотива соответственно в основном и оборотном депо.

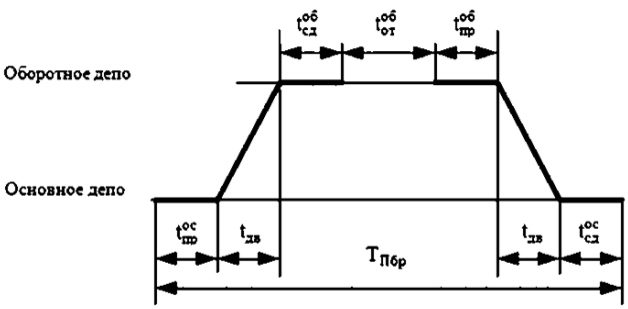


Рис. 2. Схема оборота локомотивной бригады

Существует ряд требований по организации труда и отдыха локомотивной бригады грузового движения, основные из которых [3]:

– соблюдение установленной непрерывной продолжительности работы бригад $T_{непр}$, которая должна быть не более 8 часов, при необходимости продолжительность непрерывной работы с согласия работников может быть увеличена работодателем, но не должна превышать 12 часов;

– продолжительность отдыха в пункте оборота (при организации оборота локомотивной бригады с отдыхом в пункте оборота) должна составлять не менее половины отработанного времени, но не менее 3 часов, и не должна превышать времени работы с момента явки в пункт приписки локомотивных бригад до момента прибытия и окончания работы в пункте оборота (подмены), указанные требования представлены неравенствами в формуле (1)

$$T^{об}_{отд} = \begin{cases} \geq \frac{1}{2} T_{раб}, \\ \leq T_{раб}, \\ \geq 3, \end{cases} \quad (1)$$

где $T_{раб}$ – отработанное время локомотивной бригады (от момента явки в пункт приписки до момента окончания работы в пункте оборота (подмены) локомотивной бригады), ч;

– общее время домашнего отдыха бригады $T^{ос}_{отд}$ определяется по формуле (2)

$$T^{ос}_{отд} = \sum T_{раб} \times k - T^{об}_{отд}, \quad (2)$$

где k – коэффициент, определяемый отношением недельной нормы часов отдыха в рабочие дни к недельной норме часов рабочего времени;

$\sum T_{раб}$ – суммарное рабочее время локомотивной бригады за поездку, ч;

– допускается сокращение междусменного отдыха ($T^{ос}_{сокр.отд}$) не более чем на четверть от расчетного, не допускается домашний отдых менее 16 часов, данное требование отражено в формуле (3)

$$16 \leq T^{ос}_{сокр.отд} \leq \frac{3}{4} T^{ос}_{отд}; \quad (3)$$

– после двух ночных поездок подряд не допускается сокращение междусменного отдыха;

– продолжительность еженедельного непрерывного отдыха (выходные дни) $T_{вых}$ должна быть не менее 42 часов согласно статье 110 Трудового кодекса Российской Федерации [4];

– выходные дни должны предоставляться в любой из дней недели равномерно в течение месяца, продолжительность $T_{вых}$ определяется по формуле (4) прибавлением 24 часов к расчетному времени домашнего отдыха после очередной поездки:

$$T_{вых} = (T^{ос}_{отд} + 24) \geq 42; \quad (4)$$

– запрещаются ночные поездки в период с 0 до 5 местного времени более двух календарных дней подряд.

Основной задачей нарядчика локомотивных бригад является обеспечение планирования явок бригад при соблюдении всех норм и правил.

В настоящее время нарядчик локомотивных бригад работает в автоматизированной программе АИС АРМ «Нарядчик». Программа АРМ «Нарядчик» выдает список локомотивных бригад, доступных к вызову, нарядчик проставляет вручную время явки таким бригадам под поезда, указанные дежурным по депо. Далее нарядчик выполняет вызов локомотивной бригады. По прибытию локомотивной бригады на явку в локомотивное депо, работники бригады делают отметку о явке в электронном маршруте машиниста (далее – ЭММ) самостоятельно с помощью терминала регистрации бригад.

На данный момент в проекте «Цифровая железнодорожная станция» разработан алгоритм автоматической подвязки локомотивных бригад к поездам, планируемых к отправлению со станции. Разработано также автоматическое отображение подходов поездов к станции.

На основе изученных аспектов планирования и организации разработан алгоритм процесса вызова локомотивной бригады (рис. 3) в условиях автоматического вызова бригады в соответствии со сменно-суточным планированием контингентом локомотивных бригад и требованиями по особенностям организации труда и отдыха локомотивных бригад.

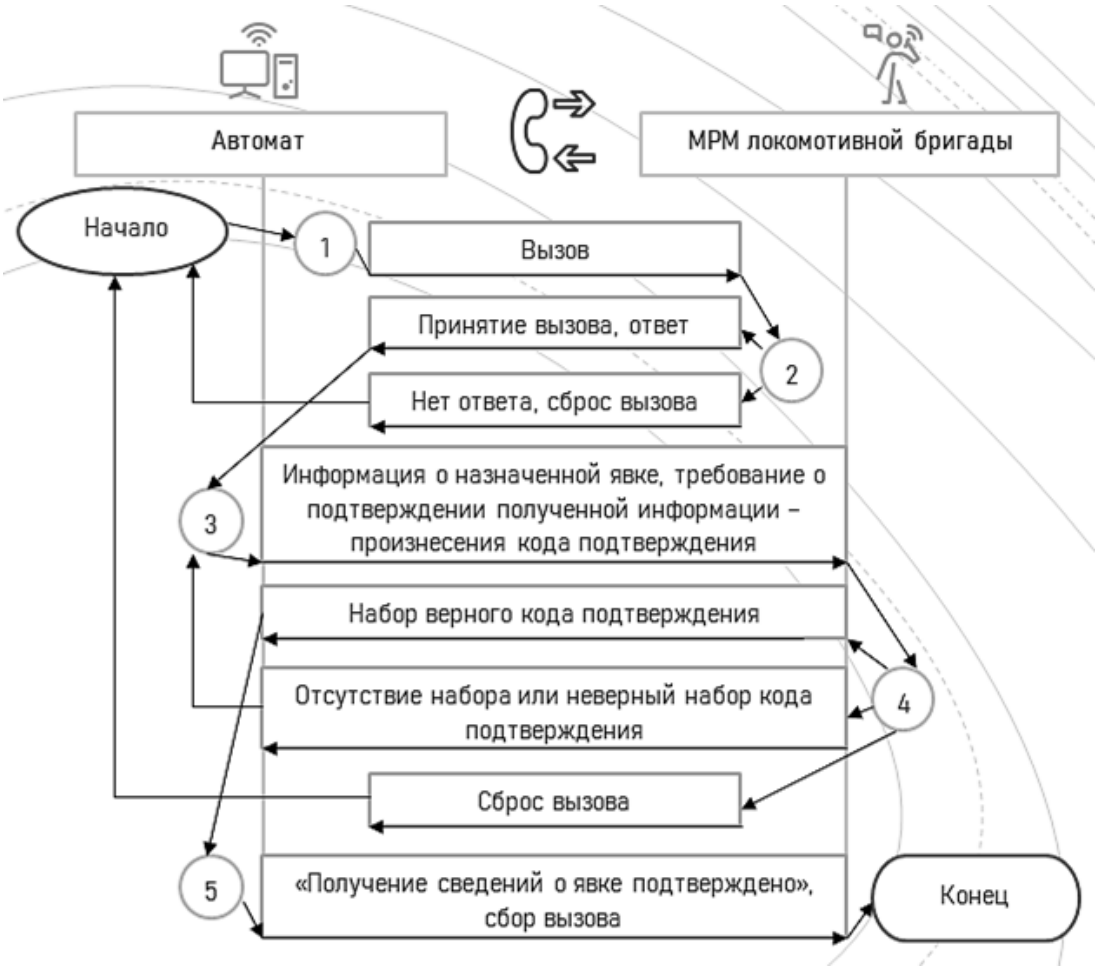


Рис. 3. Алгоритм автоматизированного вызова локомотивной бригады

Данный процесс автоматической смены локомотивной бригады предлагается осуществлять с использованием мобильных рабочих мест (далее – МРМ, рис. 4) для локомотивных бригад, функционал которых должен обеспечивать прием автоматических вызовов в поездку и оповещений о задержках, обратную связь от локомотивной бригады – подтверждение получения уведомления о назначенной поездке времени явки и др., отображение на экране сведений о подвязанном к бригаде поезде.

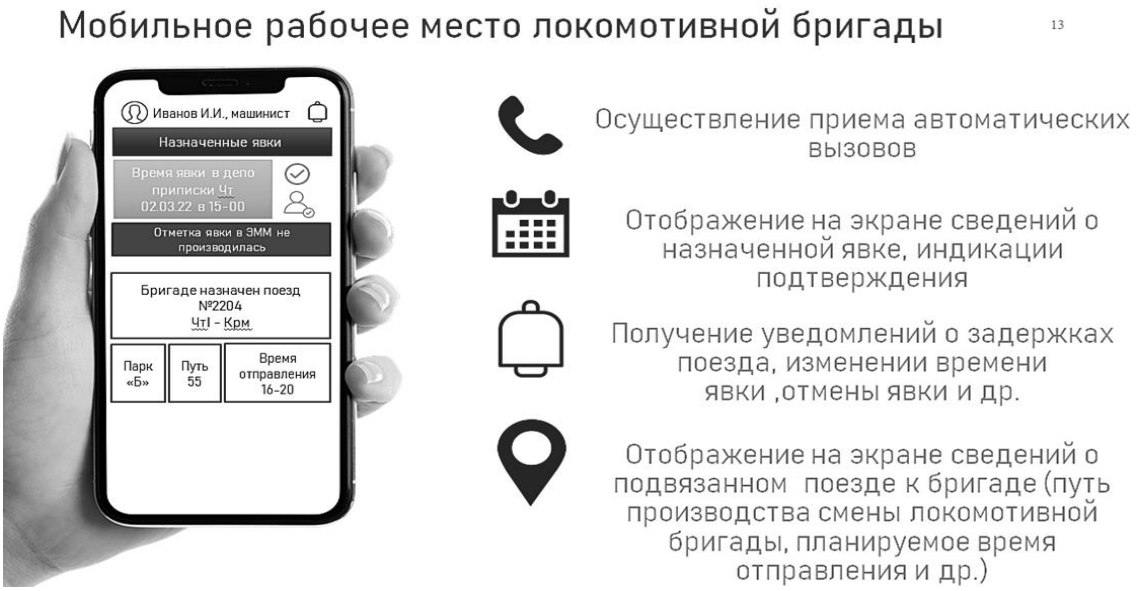


Рис. 4. Мобильное рабочее место локомотивной бригады

Для оценки экономической эффективности от внедрения автоматического вызова локомотивных бригад применен метод расчета периода окупаемости капиталовложений.

Эффективность внедрения автоматического вызова локомотивных бригад на примере станции Чита 1 представлена на рис. 5.

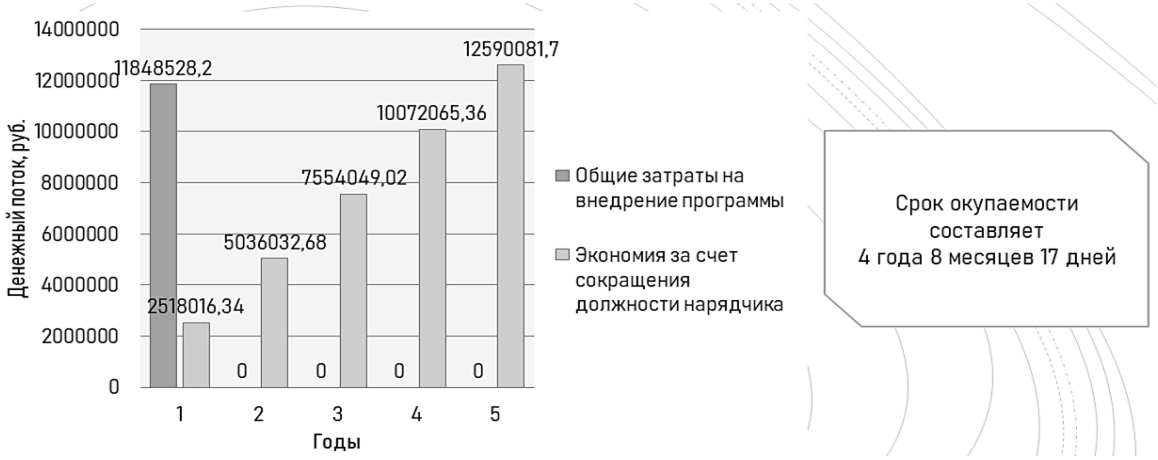


Рис. 5. Экономическая эффективность внедрения автоматического вызова локомотивных бригад

Таким образом, расчеты показали, что срок окупаемости внедрения программного продукта, обеспечивающего автоматический вызов локо-

мотивной бригады только на одной станции смены локомотивных бригад составит менее 5 лет, что является экономически эффективным. Внедрение данной технологии по всем станциям смены локомотивных бригад дороги позволит кратно сократить срок окупаемости и повысить эффективность предлагаемой технологии.

Предложенное внедрение автоматического вызова локомотивных бригад позволит свести к минимуму влияние человеческого фактора, а также своевременно отменять или переносить время явки, в связи с неплановыми обстоятельствами (например, отказами технических средств и др.), что позволит совершенствовать организацию труда и отдыха бригад и минимизировать случаи нерационального использования рабочего времени локомотивных бригад.

Библиографический список

1. Технологический процесс работы грузовой станции Чита-I Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» : утверждено 23.10.2019. – Чита, 2019. – 215 с. – Текст : непосредственный.

2. Технология управления тяговыми ресурсами на Восточном полигоне : распоряжение ОАО «РЖД» от 3.10.2017 № 2014р. – Москва, 2017. – 100 с. – Текст : непосредственный.

3. Об утверждении особенностей режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда отдельных категорий работников железнодорожного транспорта общего пользования, работа которых непосредственно связана с движением поездов : приказ Минтранса России от 09.03.2016 № 44 (ред. от 01.08.2019) // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_199662/ (дата обращения: 10.09.2022). – Текст : электронный.

4. Трудовой кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022): с изм. и доп. – КонсультантПлюс : [сайт]. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 04.09.2022). – Текст : электронный.

5. Ларченко, Е. А. Оценка качества внедрения корректирующих мероприятий, направленных на снижение расходов из-за задержки поездов по вине локомотивных бригад / А. В. Ларченко, А. А. Еременко // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Том 2. – С. 62–65. – Текст : непосредственный.

Н.Ф. Сирина
Уральский государственный университет путей сообщения,
г. Екатеринбург, Россия

В.В. Зубков
Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте,
г. Москва, Россия

П.Е. Раевская
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БИЗНЕС-БЛОКА ОАО «РЖД» НА РЕЗУЛЬТАТ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В статье представлены результаты анализа бизнес-блока «Железнодорожные перевозки и инфраструктура», оказывающие влияние на эксплуатационные показатели.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, бизнес-блок, перевозочный процесс.

Существует множество определений бизнес-процесса (БП). В стратегии [1] БП – объединение различных процессов в рамках определенного вида деятельности. В результате создается готовая продукция, которая имеет ценность для внешнего потребителя.

Элементом БП является производственный процесс. Это процесс взаимодействия людей, инфраструктуры и предметов труда для организации производства транспортной продукции. Обязательно должны целесообразно использоваться имеющиеся ресурсы для удовлетворения потребностей хозяйственной деятельности и населения в перевозках. В документе [2] представлены производственные процессы, реализующиеся в зависимости от направлений (рис. 1).

Для реализации представленных видов деятельности задействованы существующие ресурсы. Итогом их реализации является продукция соответствующего количества и качества, т.е. перевозка грузов, пассажиров. Соответственно единицами измерения являются количество перевезенных грузов (тонно-километров) или пассажиров (пассажиро-километров) – это качественные характеристики эксплуатационной работы.

Рис. 1. Виды деятельности производственных процессов на железнодорожном транспорте

Одной из главных задач БП «Железнодорожные перевозки и инфраструктура» («ЖПИ») является организация работы по повышению эффективности производственного процесса. Сюда также относится поддержание и развитие объектов инфраструктуры, которые необходимы для реализации эксплуатационной работы. Одним из важных документом для организации производства «ЖПИ» является график движения поездов (ГДП), который, регламентирует работу всех структурных подразделений железнодорожного транспорта, связанных с эксплуатационной работой [3]. Для обеспечения безопасной и бесперебойной организации движения поездов должна соблюдаться четкая организация, точное выполнение технологических процессов всех структур. Главным требованием ГДП является обеспечение перевозки грузов и пассажиров с максимальным использованием технических средств и созданием условий для производства ремонтных работ при обеспечении безопасности движения поездов.

Особенностью составления ГДП на линиях с электротягой является зависимость реализуемой мощности локомотива:

– от количества поездов и способов организации движения;

– равномерной их прокладки по массе и скорости движения на ГДП.

Существующая на путях общего пользования пропускная способность по устройствам электроснабжения [4] определена планами элек-

трификации линий. В то время заданный вес поезда составлял до 4,5 тысяч тонн.

Норма массы грузовых поездов – один из основных показателей. Она определяет количественные и качественные характеристики производственного процесса [5]. Увеличение массы поезда приводит к необходимости внедрения других подходов для обеспечения технической возможности устройств инфраструктуры [6].

В соответствии с годовыми отчетами работы ОАО «РЖД», средний вес поезда ежегодно увеличивался, однако, начиная с 2020 года, происходит снижение. Это обусловлено существующими ограничениями, в связи с распространением новой коронавирусной инфекции, особенностями функционирования железнодорожного транспорта в переходный период формирования новых экономических связей предприятий после введения рядом стран экономических санкций против нашего государства (рис. 2).

Рис. 2. Динамика изменения среднего веса поезда

Графиком устанавливается определенная норма массы поездов, но фактически она отклоняется от нее в довольно широком диапазоне.

Анализ графика исполненного движения (рис. 3) показал, что доля поездов, масса которых соответствует установленной ГДП норме, не превышает 15–20 %.

Результаты распределились по полям рассеивания массы и длины поездов в следующих секторах:

1. Сектор-поезда менее 6 тыс. т и менее 71 у.в.;

2. Поезда 6 тыс. т и более, но менее 71 у.в.;

3. Сектор составляют поезда менее 6 тыс. т, но 71 у.в. и более;

4. Составляют поезда более 6 тыс. т и 71 у.в.

Процент поездов, находящихся в каждом секторе, представлен в Таблице.

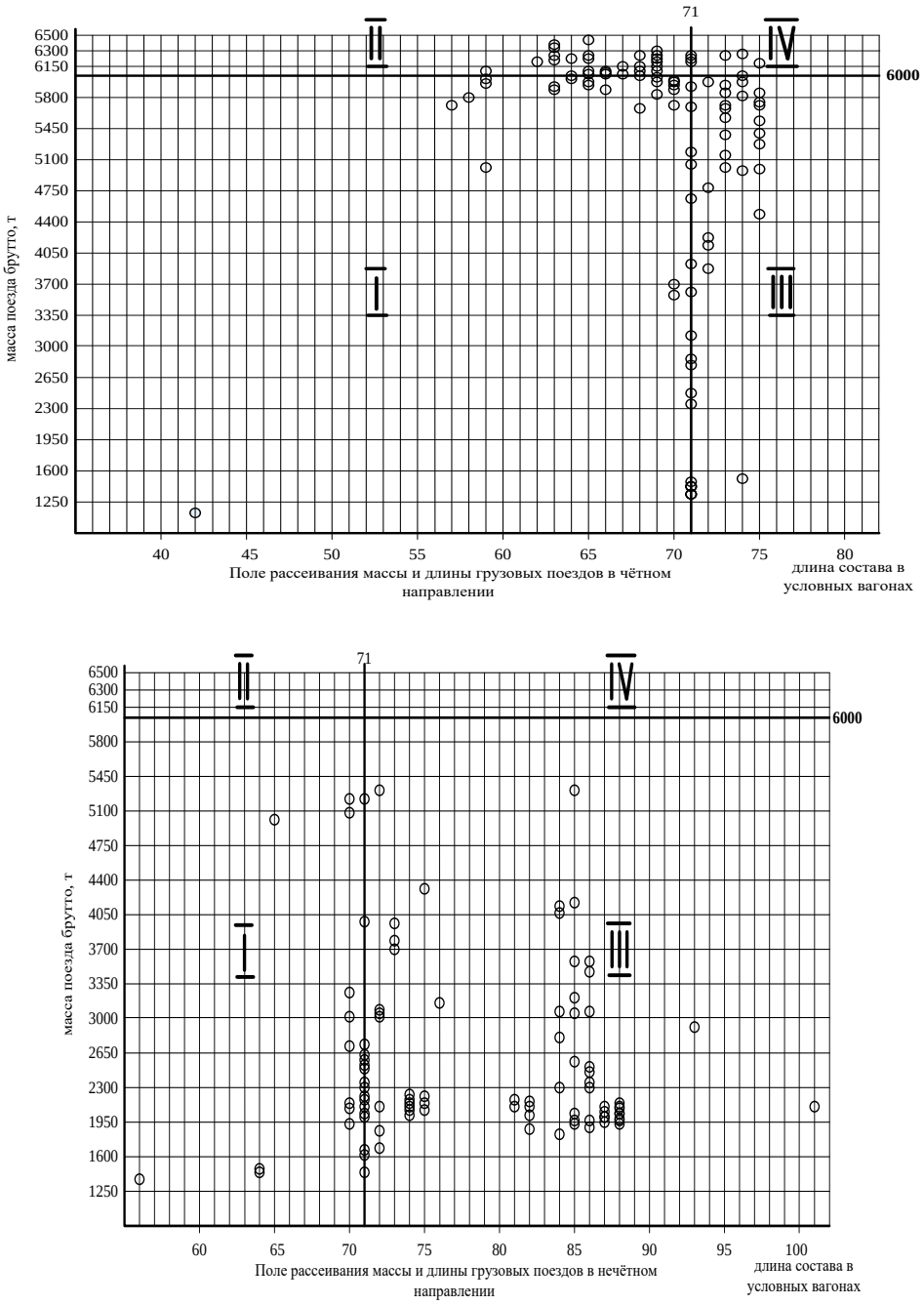


Рис. 3. Поле рассеивания массы и длины грузовых поездов в четном и нечетном направлениях

Таблица

Анализ распределения масс и длин поездов в чётном и нечетном направлениях

Сектор	Процент поездов в каждом секторе, %	
	четное	нечетное
I	20	12
II	28	0
III	45	88
IV	7	0
Итого	100	

По данным таблицы максимальное количество четных и нечетных поездов находится в третьем секторе, а именно это поезда, которые имеют массу менее 6 тыс. т, но по длине 71 у.в. и более. В нечетном направлении отсутствуют поезда с массой более 6 тыс. т и с длиной 71 у.в. и более, т.к. преимущественно в этом направлении следуют порожние поезда.

Составляющей технико-эксплуатационной оценки качества работы участков, полигонов, направлений являются эксплуатационные показатели графика движения поездов.

Важные направления в сфере эксплуатационной работы в «ЖПИ» представлены на рис. 4.

Рис. 4. Стратегические инициативы в сфере управления перевозочным процессом в бизнес-блоке «Железнодорожные перевозки и инфраструктура»

Повышение массы грузовых поездов во взаимодействии с развитием инфраструктуры приведет не только к увеличению провозной спо-

собности железнодорожных линий, а также и к снижению требуемого эксплуатируемого парка локомотивов. Научно-технический совет ОАО «РЖД» регулярно проводит заседания по вопросам повышения пропускной способности с учетом тяжеловесного движения [7, 8, 9].

При росте грузопотоков на путях общего пользования организация движения соединенных поездов может рассматриваться как временная или постоянная технология пропуска поездов. Это позволит улучшить эксплуатационные показатели железнодорожных участков и направлений.

Библиографический список

1. Функциональная стратегия управления качеством в ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 15.01.2007 № 46р. – Текст : непосредственный.

2. О формировании отчётности открытого акционерного общества «Российские железные дороги : постановление Правительства № 871 от 29 декабря 2004 г. – Текст : непосредственный.

3. Каретников, А. Д. График движения поездов / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Москва : Транспорт, 1979. – 301 с. – Текст : непосредственный.

4. Оптимизация системы тягового электроснабжения тяжеловесного движения на основных направлениях / А. А. Федотов, начальник Департамента электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД» // www.zeldortrans-jornal.ru/publik/explotacion/train/november-05-10.htm / – Текст : электронный.

5. Влияние системы тягового электроснабжения на пропускную способность Забайкальской железной дороги / П. Е. Раевская (Волокитина) // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – Ростов-на-Дону. – 2011. – № 2(42). – С. 126–131. – Текст : непосредственный.

6. Обсуждение проблемы тяжеловесного движения на высшем уровне: 27 июля 2016 г. прошло заседание научно-технического совета ОАО «РЖД» / подготовил А. С. Яновский // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 9. – С. 39–40. – Текст : непосредственный.

7. Президент ОАО «РЖД» Олег Белозёров провел заседание научно-технического совета по вопросам развития тяжеловесного движения // РЖД Партнер. Документы. – 2016. – № 17. – С. 13. – Текст : непосредственный.

8. Тяжеловесное движение: выгодно или затратно? / подготовил А. С. Яновский // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 1–2. – Текст : непосредственный.

В.Е. Стольникова, Е.В. Маловецкая
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНЫХ И ПРОВОЗНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЗА СЧЕТ РЕКОНСТРУКЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ОБЪЕКТОВ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация: *Дан анализ мероприятиям по увеличению пропускной способности на подъездных путях, рассмотрены вопросы обеспечения безопасности движения посредством модернизации инфраструктуры путей необщего пользования в техническом отношении в соответствии с ПТЭ.*

Ключевые слова: *пропускная способность, подъездные пути, гарантийные плечи, гарантийный участок, модернизация технических средств и инфраструктуры, безопасность движения, технические средства.*

В настоящее время грузовое хозяйство является одним из ведущих на железнодорожном транспорте страны. Грузовая и коммерческая работа как производственная сфера железнодорожного транспорта и как отрасль эксплуатационной науки имеет свою более чем столетнюю историю развития. Идет постоянное развитие контейнерных и пакетных перевозок, создаются механизированные и автоматизированные транспортно-складские комплексы и автоматизированные системы управления грузовыми станциями и контейнерными терминалами; на промышленном транспорте получили распространение научно-обоснованные методы взаимодействия подъездных путей и станций примыкания на основе Единых технологических процессов; применяются методы ускоренного обслуживания грузовых фронтов, централизованные расчеты за перевозку грузов, концентрирования грузовой работы на меньшем числе станций, маршрутизация перевозок.

Технология грузовой и коммерческой работы предусматривает выполнение операций: с грузами (прием к перевозке, взвешивание, хранение, погрузка, выгрузка, сортировка и выдача); с документами; с грузовыми поездами (коммерческий осмотр); по информированию грузополучателей и грузоотправителей (о подходе, прибытии, подаче вагонов на погрузочно-выгрузочные фронты и об уборке); по обслуживанию подъездных путей предприятий и портов; по расчетам за перевозки грузов и

транспортные услуги. Правовой основой грузовой и коммерческой работы является Устав железных дорог Российской Федерации.

Грузовые станции являются важнейшим элементом железнодорожного транспорта. В новых экономических условиях они призваны сыграть ключевую роль в деле привлечения грузов к перевозкам. От работы этих станций непосредственно зависит финансовое положение всей отрасли в целом. Поэтому улучшение работы грузовых станций – огромный резерв повышения эффективности работы транспорта в целом.

Основной объём грузовой работы выполняется на подъездных путях, поэтому важно правильно организовывать взаимодействие станции и промышленных предприятий. Для реализации важных целей необходимо переходить к созданию и внедрению единой технологии работы и совместной ответственности смежников за результаты работы. В настоящее время актуальным встает вопрос о модернизации подъездных путей, совершенствовании технологии их работы, об увеличении пропускной и провозной способности. Реализуя мероприятия по оптимизации подъездных путей, можно достичь увеличения прибыли компании, а также снизить конкурентоспособность.

Реконструкция железнодорожного пути проводится в соответствии с действующей нормативно-технической документацией, регламентирующей общие принципы, технические параметры, нормативы и требования по производству реконструкции железнодорожного пути, включающие критерии назначения, подготовку проектов с проведением обследовательских и изыскательских работ, организацию и технологию выполнения работ, приемку и сдачу в эксплуатацию пути после его реконструкции.

Реконструкция (модернизация) железнодорожного пути направлена на повышение прочности, несущей способности, стабильности, долговечности и других показателей надежности как железнодорожного пути в целом, так и его составных частей, и элементов, обеспечивающих продление продолжительности жизненного цикла, сокращение трудоемкости и стоимости технического обслуживания пути и получение экономического эффекта при его эксплуатации.

К реконструкции (модернизации) железнодорожного пути, в том числе подъездных путей, относятся работы, приводящие к изменению категории пути, а также к повышению грузоподъемности искусственных сооружений, способности пути и искусственных сооружений нести повышенные осевые и погонные нагрузки, изменению пространственных характеристик (плана и профиля пути, геометрии балластной призмы, земляного полотна, негабаритных мест), изменению конструкции пути с

устройством новых водоотводных, защитных и укрепительных сооружений. После реконструкции путь может переводиться также в более высокий класс в зависимости от эксплуатационных условий.

В отличие от капитального ремонта, когда выполняются работы только по верхнему строению пути (замена изношенной рельсошпальной решетки на деревянных или железобетонных шпалах без переустройства положения пути в плане и профиле, очистка или замена балласта), а также очистка водоотводов, при реконструкции железнодорожного пути, помимо работ по верхнему строению пути, выполняется комплекс работ по улучшению плана и профиля пути, по земляному полотну, малым и средним мостам и другим инженерным сооружениям, а также сопутствующие работы по системам сигнализации и электроснабжения.

Работы по реконструкции железнодорожного пути проводятся в составе комплексной реконструкции инфраструктуры при необходимости увеличения пропускной и (или) провозной способности участков, комплексного обновления параметров устройства пути, электроснабжения, автоматики и телемеханики, связи, а также при вводе в обращение грузовых вагонов с осевой нагрузкой выше 25 т на ось и организации скоростного (от 141 км/ч до 200 км/ч) и высокоскоростного (более 200 км/ч) движения пассажирских поездов.

Выполнение отдельных работ и их совокупностей, направленных на повышение технического уровня отдельных объектов железнодорожного пути и преимущественно выполняемых по типовым технологическим процессам или их модификациям, относится к модернизации железнодорожного пути.

Реконструкция железнодорожного пути, требующая изменений продольного профиля и плана (ликвидация переломов профиля, уменьшение уклонов пути до нормативных значений и др.), сопряженных с большими объемами земляных и других работ, должна выполняться в рамках комплексной реконструкции инфраструктуры железнодорожной линии.

Реконструкция железнодорожного пути, на котором намечается обращение пассажирских поездов со скоростями более 200 км/ч, должна выполняться в рамках комплексной реконструкции инфраструктуры железнодорожной линии по специально разработанным нормативам и требованиям.

Реконструкция железнодорожного пути должна проводиться в первую очередь на линиях 1–3 классов, подготавливаемых для скорост-

ного движения пассажирских поездов, увеличения пропускной и провозной способности, повышения нагрузки на ось.

Реконструкция железнодорожного пути проводится по специально разработанным проектам с учетом технико-экономического обоснования принимаемых проектных решений по инвестиционной программе.

Реконструкция больших мостов, тоннелей, галерей и автодорожных путепроводов должна проводиться по отдельной проектной документации.

К реконструкции железнодорожного пути относятся работы, приводящие, как правило, к изменению категории пути. Реконструкция железнодорожного пути направлена на повышение прочности, несущей способности, стабильности, долговечности и других показателей надежности как железнодорожного пути в целом, так и его составных частей, и элементов, обеспечивающих продление продолжительности жизненного цикла, сокращение трудоемкости и стоимости технического обслуживания пути и получение экономического эффекта при его эксплуатации.

В состав работ при реконструкции железнодорожного пути входит:

- замена рельсо-шпальной решетки на новую решетку с применением прогрессивных конструкций пути;
- очистка щебеночного балласта или замена асбестового на глубину не менее 40 см. с укладкой в местах с пучинами, просадками пути, интенсивными расстройствами рельсовой колеи пенопласта, нетканого материала, подбалластного слоя из щебеночно-гравийно-песчаной смеси, т.ч. георешетками, в соответствии с проектными решениями;
- доведение балластной призмы до типовых размеров;
- постановка пути в плане в проектное положение в соответствие с максимальными проектируемыми скоростями движения поездов;
- выправка, подбивка и стабилизация пути с постановкой его на проектные отметки в профиле;
- комплексная замена стрелочных переводов, т.ч. на стрелочные переводы более пологих марок;
- сварка плетей до длины перегона, включая стрелочные переводы;
- шлифование поверхности катания рельсов;
- послеосадочная выправка пути (через 10–30 млн. т брутто);
- утилизация снимаемых элементов верхнего строения пути, негодных к повторной укладке в путь;
- уширение основной площадки, уположение откосов насыпей для приведения их к нормам действующих технических условий;
- раскрытие выемок, в том числе с устройством полок на откосах;
- устройство армогрунтовых габионных подпорных стенок;

- переустройство лотков, изменение схемы водоотведения с устройством новых лотков;
- устройство новых дренажей глубокого и мелкого заложения.

Сопутствующие работы:

- восстановление негодных километровых, пикетных знаков и знаков закрепления кривых с учетом их нового положения;
- ремонт и устройство новых пешеходных переходов;
- переустройство железнодорожных переездов;
- устройство пунктов обогрева;
- устройство ограждения вдоль железнодорожного пути;
- создание реперных сетей на участках реконструкции железнодорожного пути;
- устройство временных съездов, их электрификация, устройство средств управления временными стрелочными переводами и др.

В наиболее общем виде последовательность технологических операций при реконструкции железнодорожного пути (Р) следующая:

- создание реперных сетей на участке реконструкции;
- устройство временных съездов, их электрификация, устройство временных секционных изоляторов;
- разбивка и закрепление проектного положения пути до производства работ по реконструкции;
- ремонт и восстановление водоотводов;
- устранение зауженной ширины основной площадки;
- уположение откосов насыпей и выемок;
- снятие старогодных плетей бесстыковом пути) для повторного их использования на менее грузонапряженных участках;
- замена стрелочных переводов, т.ч. на более пологие марки;
- замена рельсошпальной решетки на новую решетку
- срезка части балласта землеройными машинами на глубину, обеспечивающую создание при последующей глубокой очистке балласта слоя чистого щебня проектной толщины под шпалой;
- постановка круговых, переходных кривых и прямых участков на проектную ось;
- глубокая очистка балласта засорителей (в зависимости от технологии производства работ очистка балластной призмы может выполняться до снятия старогодных плетей бесстыкового пути и укладки инвентарных рельсов);
- укладка в процессе глубокой очистки защитного подбалластного слоя на срез с уклоном 0,04 в полевую сторону с покрытием геотекстиля,

пенополистирола, георешетки на глубине не менее 45 см от подошвы шпал, формирование и уплотнение балластного слоя;

- частичное переустройство элементов профиля и их сочетаний до установленных нормативов;
- доведение балластной призмы до типовых размеров с выгрузкой необходимого количество щебня;
- выправка, подбивка, рихтовка и стабилизация пути с постановкой на проектные отметки в плане и профиле;
- замена инвентарных рельсов на сварные рельсовые плети из новых рельсов с постановкой их в оптимальную температуру закрепления со сваркой плетей на длину блок-участка или перегона, вваривание высокопрочных изолирующих стыков и стрелочных переводов;
- переустройство железнодорожных переездов;
- шлифование поверхности катания рельсов;
- проверка соответствия положения пути проектному;
- утилизация снимаемых материалов верхнего строения пути, негодных к повторной укладке;
- восстановление путевых знаков, знаков закрепления кривых с учетом их нового положения, уборка засорителей и балласта от опор контактной сети;
- послеосадочная выправка пути (через млн.т.бр.);

Все работы по реконструкции (модернизации пути) должны выполняться в соответствии с проектной документацией.

В результате модернизации и оптимизации подъездных путей возможно улучшить такие показатели как:

– сокращение времени на подачу и уборку вагонов;
– увеличение веса обращающихся составов;
– увеличение пропускной и провозной способности;
– увеличение количества подач в сутки;
– увеличение прибыли от грузовых перевозок.

В процессе написания данной статьи был систематизирован материал, предложены пути оптимизации подъездных путей в части технического перевооружения в целях увеличения пропускной способности.

Оценивая предложенные мероприятия, можно сделать вывод об их целесообразности внедрения, поскольку прослеживается положительный экономический и технологический эффект от их реализации.

Библиографический список

1. Бойко, Н. И. Транспортно-грузовые системы и склады : учебное пособие / Н. И. Бойко, С. П. Чередниченко. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – 400 с. – Текст : непосредственный.

2. Гриневич, Г. П. Комплексная механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ на железнодорожном транспорте / Г. П. Гриневич. – Москва : Транспорт, 1981. – Текст : непосредственный.

3. Меньших, В. И. Организация грузовой работы станции и примыкающих к ней железнодорожных путей необщего пользования : методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию / В. И. Меньших. – Екатеринбург : УрГУПС, 2007. – 7 с. – Текст : непосредственный.

4. Маловецкая, Е. В. Использование имитационного моделирования с целью подтверждения возможности освоения заданных объемов перевозки / Е. В. Маловецкая // Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России : труды международной научно-практической конференции, Москва, 22–23 апреля 2021 года / ответственный редактор А. Ф. Бородин, составитель Р. А. Ефимов. – Москва : Российский университет транспорта, 2021. – С. 225–230. – Текст : непосредственный.

5. Маловецкая, Е. В. Актуальность применения математического моделирования при построении прогнозных моделей погрузки грузов в адрес портов Дальнего Востока / Е. В. Маловецкая, А. П. Козловский // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Том 14. – № 12. – С. 51–57. – DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-12-51-57. – Текст : непосредственный.

6. Маловецкая, Е. В. Управление вагонопотоками на транспорте / Е. В. Маловецкая // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2011. – Том 2. – С. 4–9. – Текст : непосредственный.

7. Маловецкая, Е. В. Планирование качественных показателей эксплуатационной работы железных дорог при переходе к полигонным технологиям / Е. В. Маловецкая // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : материалы I Всероссийской научно-практической конференции, Самара, 23–24 апреля 2019 года. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 90–95. – Текст : непосредственный.

8. Плахотич, С. А. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте : конспект лекций / С. А. Плахотич. – Екатеринбург : УрГУПС, 2007. – 182 с. – Текст : непосредственный.

9. Политов, В. В. Комплексная механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ : учебно-методическое пособие / В. В. Политов, А. М. Брагин. – Екатеринбург : УрГУПС, 2000. – 6 с. – Текст : непосредственный.

10. Дмитренко, А. В. Эффективные пути повышения среднего веса грузовых поездов / А. В. Дмитренко, Е. А. Ларченко, А. А. Еременко. – DOI 10.52170/1815-9265_2021_59_69 // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4 (59). – С. 69–74. – Текст : непосредственный.

А.К. Таюрская, Ю.И. Белоголов
Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

НОВЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ – НОВЫЕ ПРАВИЛА РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ

В статье представлены изменения правил технической эксплуатации в связи с выходом нового приказа Минтранса России в 2022 году. Данные изменения рассмотрены через призму сравнения актуальной и старой версии ПТЭ. Особое внимание уделено изменениям в таких приложениях, как №2, №9 и №17. Выделены наиболее важные аспекты, которые повлияли на изменения в работе сотрудников, неотъемлемо связанных с движением поездов. Так же показаны не только структурные изменения, но и нововведения, с которыми придётся столкнуться сотрудникам железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: Правила технической эксплуатации, изменение, инструкция телеуправление, система интервального регулирования.

На сегодняшний день прошло почти десять лет с момента, когда приказ Минтранса России от 21.12.2010 № 286 «Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации» вступил в силу (01 сентября 2012 г.) и действовавшие до недавнего времени Правила технической эксплуатации (ПТЭ) являлись одним из основных документов регламентирующим безопасную работу отрасли железнодорожного транспорта. Следует заметить, что приказ датирован декабрем 2010 года, а вступил в силу только в сентябрь 2012, по прошествии почти двух лет. Действующие ПТЭ утверждены приказом от 23.06.2022 № 250 и вступили в силу с 01 августа 2022 года (действуют

до 31 июля 2028 года). Таким образом, в отличие от предыдущих ПТЭ для действующих был определен период действия. Кроме того, с момента выхода приказа и его вступления в силу прошло чуть больше месяца. Это именно то время, которое было отведено на освоение «новых» ПТЭ.

За время существования предыдущих ПТЭ неоднократно, а точнее 12 раз вносились изменения Министерством транспорта Российской Федерации. При этом основная часть внесенных изменений пришлась на 2018 год.

Значительные изменения коснулись структуры, в правилах 2012 года было шесть разделов и десять приложений, после изменения стало 9 разделов и всего 3 приложения. Был исключён второй раздел «Основные определения» и вынесен в ГОСТ 34530-2019 «Основные понятия. Термины и определения». Приложение № 6 было перенесено в инструкцию по движения поездов (ИДП).

Изменения подобного рода коснулись всех подразделений вследствие чего и всех профессий. В правилах 2022 года был введен термин «Система интервального регулирования движения поездов». Этот термин подразумевает повышение пропускной способности, обеспечение безопасного движения на железнодорожном транспорте, а также обеспечивает оперативное руководство всем перевозочным процессом. Оказывая значительное влияние на рост производительности труда сотрудников, занимающих должности непосредственно связанных с движением поездов. На сегодняшний день установка подобных систем способствует увеличению эффективности эксплуатации всех технических средств железнодорожного транспорта.

Более подробно ознакомимся с изменениями в приложении № 2 Инструкция движения поездов.

Начиная с первого раздела, нельзя не обратить внимание на расширенный перечень вагонов, которые запрещается ставить в поезд. В этом списке, на сегодняшний день, насчитывается двенадцать пунктов вместо десяти, как было ранее. Далее мы видим добавление двух новых приложений: Приложение №2 «Порядок организации движения поездов на участках, оборудованных автоматической локомотивной сигнализацией, применяемой как самостоятельная система интервального регулирования движения поездов» и приложение №17 «Порядок движения специального подвижного состава на комбинированном ходу».

Приложение №2 состоит из двух разделов:

I. Общие положения

II. Прием и отправление поездов

Приложение №17 состоит из четырех разделов:

I. Общие положения

II. Организация движения СПК на железнодорожной станции

III. Организация движения СПК на перегоне

IV. Действия при возникновении аварийной или нестандартной ситуации при движении СПК по железнодорожным путям.

Изучив инструкцию по движению поездов 2022 года, стоит обратить внимание, что в новой инструкции автоматическая локомотивная система (АЛСО) выступает как новое основное средство интервального регулирования движения поездов. Так же немаловажным фактором является – исключение одной неисправности автоблокировки, при которой прекращается ее действие. Указывается, что само по себе прекращение действия автоблокировки на перегоне – не повод для остановки движения поездов: главное, чтобы дежурный по станции вовремя установил управление по телефонным средствам связи на данном пути.

Были исключены как термины путевая записка и регистрируемый приказ (стал иметь только устную форму). В ПТЭ приложении № 22 представлен бланк ДУ-50 иных упоминания о путевые записки нет. Нельзя не заметить изменения, коснувшиеся понятий пути общего пользования, после изменений правил формулировка поменялась на пути владельца инфраструктуры.

Это было сделано в связи с неактуальностью организации данных процессов, так как компания ОАО «РЖД» декларировали взятый курс на постепенный переход к беспилотным технологиям. Говоря о возможностях дистанционного управления стоит обратиться к приложению №9 данной инструкции, где введено новое понятие «Телеуправление» и закрепление возможности дистанционной работы дежурного по станции (ДСП). Термин телеуправление подразумевает под собой систему управления стрелками и сигналами с опорных станций на малодеятельные станции. Под малодеятельными станциями понимают: станции с минимальным объемом местной работы. Такие станции как правило находятся на линиях с интенсивным движением.

Рассматривая приложение № 9 о порядке и организации приема и отправления поездов, в том числе на участках, оборудованных системой управления стоит обратить внимание, что по сравнению с предыдущими правилами уходить аббревиатура ТРА (Техническо-распорядительный акт). Значительно изменились формулировки пунктов, при этом суть не изменилась их суть.

К необходимым нововведениям относят допуск движения грузовых поездов со скоростным ограничением 120–140 км/ч с использованием

пневматического тормоза. Благодаря этому разрешается эксплуатировать скоростные грузовые вагоны.

ПТЭ 2022 года включают в себя активное внедрение и использование искусственного интеллекта в процессах информационного управления системами подвижного состава. Опираясь на новые правила, возможность применения искусственного интеллекта возможна на поездах, обеспеченных системами автоматического управления. В приказе изложены четыре пункта, согласно которым допустимо применять искусственный интеллект:

1) в поезде всегда была возможность переключиться на ручной режим управления;

2) до допуска поезда к эксплуатации даже на железнодорожных путях необщего пользования надо убедиться, что эта система работает и проходит надлежащее обслуживание;

3) допуск к ремонту на стрелочных переводах на ж/д станциях, снабжённых автоматизированной системой управления, должен быть ограничен владельцем ж/д пути отдельным локальным актом;

4) при этом ответственность за надёжную работу систем автоматического управления лежит за разработчиками и производителями таких систем.

Из всего выше сказанного следует вывод о том, что ПТЭ действительно нуждалось в изменениях, поскольку предыдущие правила активно теряли свою актуальность. Так как правила и их приложения обязательны для соблюдения всеми подразделениями ОАО «РЖД», а также частными лицами, связанными с организацией перевозочного процесса, технического обслуживания и т.д. Внесенные изменения способствуют наиболее комфортным условиям эксплуатации железнодорожного транспорта.

Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : приказ министерства транспорта РФ от 23.06.2022 № 250. – Текст : непосредственный.

2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : приказ министерства транспорта РФ от 21.12.2010 № 286. – Текст : непосредственный.

3. О внесении изменений в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г.

№ 286 : приказ Министерства транспорта РФ от 9 февраля 2018 г. № 54. – Текст : непосредственный.

4. ОАО «РЖД» : официальный сайт. – URL : https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=1827. – Текст : электронный.

Е.Е. Черткова, А.Е. Чумакина, Т.Н. Черняева
Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДОРОГ

В работе рассмотрены понятия, связанные с расчетом экономических показателей при выполнении установленных показателей движения поездов. Расписана формула расчета оборота вагона, который измеряется в сутках. Приведена задача, в которой рассчитывается оборот вагона, его простой с переработкой и без переработки на станциях погрузки и пути следования. Для того, чтобы знать затраченное время простоя, отслеживать вагоны, планировать парк вагонов, погрузку, необходимо уметь рассчитывать оборот вагона.

Ключевые слова: расчет показателей дороги, оборот местного вагона, оборот грузового вагона, простой местного вагона, простой транзитного вагона.

В данной работе представлен качественный показатель «оборот местного вагона». [6] Этот показатель характеризует количество перевозочной работы, приходящейся на единицу транспорта. Он описывает использование рабочего парка вагонов, а также показывает результаты организаторской, экономической и технической работ всех звеньев магистрали. [1] Он описывает степень применения вагона, его дислокацию в работе со сложными условиями эксплуатации, дисциплинированность и аккуратность сотрудников железнодорожного транспорта. [1]

Оборот местного вагона (измеряется в сутках) – это время сбора груженого вагона с местным грузом от момента погрузки до этапа момента его выгрузки. Чем быстрее оборачивается вагон между грузовыми операциями, тем меньше по времени оборот вагона. В результате за меньшее время можно перевести большее количество груза с меньшим вагонным парком на заданные размеры перевозок. [2]

Хотим обратить внимание, что данный показатель отражает и срок доставки груза. Как будет описано ниже, оборот вагона рассчитывается как время нахождения в пути следования, на станциях под грузовыми операциями, простой на технических станциях. Следовательно, чем ниже простой на грузовых станциях, а тем более в пути следования и под обработкой на технических станциях, тем меньше срок доставки погруженного груза. Ориентировочно, время в движении составляет примерно 15–17% от всего времени оборота вагона. Однако, бывают случаи «бросания поездов» в пути следования, соответственно данный процент может быть увеличен. Поезд может быть «брошен» на подходе к станции из-за неприема, ввиду сложной эксплуатационной обстановки. Наибольший процент прохождения вагона занимает нахождение вагона в других видах простоя. На данный момент множество факторов оказывают воздействие на производство грузовых операций. На результат влияют участники процесса: грузоотправитель и грузополучатель, которые задерживают вагон под грузовой операцией или после выгрузки, перевозчик, который из-за отсутствия локомотива или других причин ввиду сложной эксплуатационной обстановки несвоевременно отправляют вагон, а также мощностей инфраструктуры. [5]

Хотим отметить, что вагон может находиться за время всего оборота как в рабочем, так и нерабочем парке. Вагон по техническим причинам (неисправности) может быть отцеплен от состава поезда. Следуя через техническую станцию, работники вагонного хозяйства, производят обработку вагона, и по причине неисправности переводят его в категорию «брак». В результате оператору или собственнику данного вагона необходимо решить вопрос об его ремонте, оплате за ремонт и устранения неисправности на путях ближайших вагоноремонтных предприятиях. Время нахождения в категории «неисправный» вычитается из общего времени оборота вагона.

В рабочем парке вагоны могут быть переданы под ответственность операторам, диспетчерам и клиентам, которые располагаются на путях необщего и общего пользования под погрузкой, выгрузкой и в процессе подготовки документов для предъявления их к отправке. [1].

Данный показатель дает оценку клиентоориентированности железнодорожного транспорта. В случае, показанном на нашем примере, более мобильным конкурентом является автомобильный транспорт, что необходимо учитывать при составлении стратегии по снижению издержек перевозки грузов, снижению срока доставки, как следствие, снижению оборота вагона и конечно, снижению себестоимости перевозок.

Поэтому необходимо применять исследования в рамках проверки движения поездов и выстраивания оптимального варианта по перевозке грузов по различным участкам магистралей. Здесь можно добавить, что на некоторых участках магистрали единственным способом доставки груза – является железнодорожный транспорт (отсутствие асфальтированных дорог, паводки, сложные климатические условия). Однако, на «главном направлении» ВСЖД (как раз который рассматривается в нашем проекте), вариант автомобильного транспорта является наиболее оптимальным. Как вывод – необходимо совершенствовать технологии ускоренных грузовых перевозок на железнодорожном транспорте для повышения его конкурентоспособности.

Поэтому, важнейшей задачей работы железнодорожного транспорта является ускорение оборота вагона. На это оказывают ряд мероприятий: реконструкции станций, развитие технологий станций, сокращение порожнего пробега вагонов, снижение простоев вагонов под грузовыми операциями. На ускорение оборота вагона влияет увеличение скорости движения грузовых поездов. Данные задачи позволяют сократить транспортные издержки, снизить себестоимость перевозок, уменьшить срок доставки грузов и как результат увеличить прибыль транспортной компании. [4]

Пример расчета оборота местного вагона. Для примера показана станция погрузки – Азей, станция выгрузки – Улан-Удэ.

Путь будет проходить крытый вагон, погруженный домашними вещами, в составе поезда через участковую станцию Зима и Иркутск-Сортировочный, сортировочная станция.

Расчет оборота вагона

L – полный рейс вагона

$V_{тех}$ – средняя техническая скорость движения поезда.

$V_{уч}$ – участковая средняя скорость движения поезда.

B – отношение участковой скорости к технической.

$t_{тех}$ – средний простой вагона на одной технической станции.

$t_{гр}$ – среднее время простоя вагона под грузовыми операциями.

$K_{м}$ – коэффициент местной работы (т.е. вагон м.б. и погружен и выгружен за время оборота).

В формуле (1) заложено нахождение вагона в движении, на грузовой и технических станциях.

$$Q = L / L_{полн} + (1 - B) \cdot L / L_{уч} + L / L_{полн} \cdot t_{тех}(б / n) + L / L_{полн} \cdot t_{тех}(с / n) + K_{м} \cdot t_{гр}$$
$$Q = 1/24 \cdot 826 / 47 + (1 - 0{,}7) \cdot 826 / 35 + 826 / 500 \cdot 1{,}6 + 826 / 500 \cdot 20 + 1{,}1 \cdot 50 = 4{,}8 сут \quad (1)$$

Оборот вагона измеряется в сутках – на это указывает дробь: 1/24.

Оборот местного вагона рассчитывается как время, затраченное на следование от станции погрузки до станции выгрузки. Станция Азей является по своей типизации как грузовая, станция Улан-Удэ – участковая, но она открыта для производства грузовых операций.

На промежуточных станциях рассчитывается время стоянок по разным причинам, в основном – сложная поездная обстановка, а также следование по перегонам. [4]

На технических станциях состав, в котором следует вагон, будет проходить обработку работниками вагонного хозяйства (осмотр состава), смена локомотивной бригады (по станции Зима), роспуск (пропуск через сортировочные пути) и заново формирование состава с вагоном в сборный поезд и далее следование до станции назначения (т.е. Улан-Удэ). [3]

На станции погрузки будет затрачено время на погрузку и отправление вагона в сборном поезде и на станции выгрузки – время на выгрузку домашних вещей из крытого вагона, т.е. будет затрачиваться время на грузовые операции. [4]

Клиент решил перевезти вещи в крытом вагоне. Для этого он заказал вагон, его подали на путь погрузки, погрузили, оформили в товарной кассе соответствующие документы, после этого вагон сформировали в состав поезда и отправили со станции. Это составило 50 часов, время вагона от прибытия на станцию до его отправления со станции.

Далее вагон находился в пути, следуя по перегонам и промежуточным станциям.

По станции Зима в данном поезде была произведена смена локомотивной бригады. [3]

Как указывалось, в формуле расстояние техническое (L. тех) – это среднее транзитное вагонное плечо вагона (принимается за 500 км), т.е. через это расстояние вагон следует осматривать.

По станции Зима состав находится 1,6 часа.

В пути вагон проходит переработку на сортировочной станции. Это время от прибытия до отправления (норма времени 20 часов). Вагон после прибытия в парк прибытия и осмотра работниками вагонного хозяйства, проходит путь расформирования, т.е. вагон проходит через сортировочную горку и формируется согласно плану формирования. После формирования состава в сортировочном парке из вагона и еще группы вагонов, следующих назначением на станцию Улан-Удэ, состав выставляют в парк отправления, где состав осматривают работники вагонного, производится прицепка локомотива и приемка локомотива локомотивной бригадой.

Далее вагон следует до станции назначения.

Рисунок. Простой местного вагона

Время на станции Азей под грузовой операцией 50 часов, а по станции Улан-Удэ к примеру 75 часов – это будет зависеть от технологии работы станции (количества маневровых локомотивов, время подачи вагона на путь под грузовые операции, плану формирования и т.д.).

В данной работе введена формула оборота вагона и выполнен экономический расчёт показателей оборота местного вагона с простоями на станциях погрузки и в пути следования. Благодаря расчету оборота вагона с разделением его на компоненты, получится увидеть оценку воздействия факторов в работе вагонов на окончательные результаты, а также, соответственно, принимать решения по управлению вагонным парком на всех уровнях. Для расчета в приложениях также можно использовать дифференциальные уравнения, их приложения [7].

Библиографический список

1. Что такое оборот местного вагона. – URL : https://deepcloud.ru/articles/chto-takoe-oborot-mestnogo-vagona. – Текст : электронный.

2. Об утверждении Методики планирования производственных и качественных показателей нормативно-целевого бюджетирования по сортировочным, грузовым и прочим станциям (всех наименований) с детализацией по производственным операциям, предусмотренной Единым классификатором производственных операций : распоряжение от 21 мая 2021 года №1101/р / Заместитель генерального директора ОАО «РЖД», начальник Центральной дирекции управления движением Р. Ф. Сайбаталов. – Москва. – Текст : непосредственный.

3. Инструкция по составлению месячных технических норм эксплуатационной работы [утверждена первым заместителем министра путей сообщения Н. С. Кокаревым, 11 августа 1978 г.]. – Текст : непосредственный.

4. Расчет показателей использования вагонов грузового парка : методические указания к практическому занятию № 1 по дисциплине «Основы технического обслуживания вагонов» / МПС РФ, ИрИИТ ; составитель Ю. В. Воронова. – Иркутск : [б.и.], 1996. – 16 с. – Б.ц. – Текст : непосредственный.

5. Оборот местного вагона. Расчет времени оборота местного вагона. – URL : https://studfile.net/preview/3349409/page:5/ – Текст : электронный.

6. Нормирование качественных показателей. – URL : https://studopedia.org/8-28479.html – Текст : электронный.

7. Черняева, Т. Н. Приложения обыкновенных дифференциальных уравнений для решения экономических задач / Т. Н. Черняева, С. В. Миндеева // Наука и практика: интеграция знаний : сборник : материалы научно-практической конференции. – НОУ ВО «Московский экономический институт», 2015. – С. 157–159. – Текст : непосредственный.

Научное издание

ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО

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

(г. Чита, 18 ноября 2022 г.)

Том 1

Статьи печатаются в авторской редакции

Компьютерная верстка
И. А. Нерадовская

Подписано в печать 16.12.2022 г. Печать офсетная. Бумага тип. № 2.
Формат 60х84/16. Печ. л. 21,82. Тираж 100 экз.

***

672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗабИЖТ