


На правах рукописи



Лисицын Андрей Иванович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУТИ СО СЛОЖНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ
УСЛОВИЯМИ ГОРНО-ПЕРЕВАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ**

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ).

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Певзнер Виктор Ошерович,

Официальные оппоненты: **Краснов Олег Геннадьевич,**
доктор технических наук, акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава», отдел пути и специального подвижного состава, заведующий отделом;

Романов Андрей Валерьевич,
кандидат технических наук, доцент федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Железнодорожный путь», заведующий кафедрой.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится «14» сентября 2023 года в 14:00 на заседании диссертационного совета 40.2.002.03 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9 (ул. Часовая, д. 22/2, стр. 2, ауд. 329).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РУТ (МИИТ) на сайте <http://www.rut-miit.ru>.

Автореферат разослан «__» августа 2023 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Гринь Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В настоящее время на сети растет число участков движения тяжеловесных и соединенных поездов при активном насыщении сети вагонами с осевой нагрузкой 25 тс и исчерпанием на ряде основных направлений резервов пропускной способности.

С точки зрения организации технического обслуживания пути это означает:

- отсутствие возможности проведения профилактических работ;
- отсутствие резервов графика для производства ремонтных работ.

За последние пять лет грузооборот на сети ОАО «РЖД» увеличился на 24% и по прогнозам будет продолжать расти. Однако, на сегодняшний день, в связи с ростом грузонапряженности свыше 150 млн тонн брутто в год на отдельных участках железных дорог Российской Федерации, время для технологических «окон» на проведение промежуточных ремонтов и работ по текущему содержанию пути постоянно сокращается.

В условиях роста грузооборота одной из наиболее актуальных становится проблема бокового износа рельсов в кривых участках пути, так как влечет за собой выдачу предупреждений по ограничению скорости движения поездов. На горно-перевальном участке Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры наблюдается ежегодный рост изъятий рельсов со сверхнормативным боковым износом (с 278 шт. в 2016 году до 985 шт. – в 2021 году). Изменившиеся в последние годы условия эксплуатации горно-перевальных участков потребовали всестороннего рассмотрения вопросов их технического обслуживания.

Актуальность обозначенной проблемы и недостаточность ее изученности явились предпосылками к выполнению работы: «Совершенствование системы технического обслуживания пути со сложными эксплуатационными условиями горно-перевальных участков».

Степень разработанности темы исследования. Решению вопросов организации технического обслуживания и планирования путевых работ были посвящены работы известных ученых Абдурашитова А.Ю., Альбрехта В.Г., Бельтюкова В.П., Блажко Л.С., Вериги М.Ф., Глюзберга Б.Э., Ермакова В.М., Золотарского А.Ф., Исаева К.С., Каменского В.Б., Карпущенко Н.И., Ковенькина Д.А., Кондакова В.Н., Крейниса З.Л., Лидерса Г.В., Лысюка В.С., Новаковича В.И., Певзнера В.О., Першина С.П., Прохорова В.М., Романова А.В., Рыбкина В.В., Стояновича Г.М., Тихомирова В.И., Федулова В.Ф., Филиппова В.М., Фришмана М.А., Шахунянца Г.М., Шульги В.Я., Цуканова П.П. Чернышева М.А.

Вопросами износа рельсов занимались Коган А.Я., Крысанов Л.Г., Мелентьев Л.П., Никулин А.Н., Хвостик М.Ю., Шур Е.А.

Среди работ по устройству пути в кривых, необходимо отметить труды Аккермана Г.Л., Быкова Ю.А., Бучкина В.А., Ершкова О.П., Зензинова Б.Н., Карцева В.Я., Левинзона М.А., Мишина В.В., Новаковича В.И., Певзнера В.О., Стояновича Г.М., Туровского И.Я., Чернышева М.А.

Целью диссертационной работы является разработка научно-обоснованной системы организации технического обслуживания пути на горно-перевальных участках особогрузонапряженных линий

Основными задачами диссертационной работы являются:

исследования, включающие анализ инфраструктурных факторов, определяющих боковой износ рельсов в кривых в условиях тяжеловесного движения на горно-перевальных и равнинных участках Восточного полигона по результатам эксплуатационных наблюдений с учетом параметров устройства и состояния пути;

совершенствование системы технического обслуживания пути на участках со сложными эксплуатационными условиями (горно-перевальные участки особогрузонапряженных линий).

Объектом исследования являются горно-перевальные участки железнодорожного пути особогрузонапряженных линий.

Предметом исследования является система технического обслуживания железнодорожного пути на горно-перевальных участках особогрузонапряженных линий.

Научную новизну представляют:

1. Установленные количественные зависимости и сравнительный анализ степени влияния эксплуатационных факторов и параметров устройства пути (структура поездопотока, профиль линии, система лубрикации, выход из строя элементов верхнего строения пути и работы по техническому обслуживанию пути) на износ рельсов и состояние пути на горно-перевальных и равнинных участках в условиях высокой грузонапряженности.

2. Установленные закономерности между параметрами технического обслуживания пути и условиями эксплуатации горно-перевальных участков.

Теоретическая значимость работы определяется построением обобщенных моделей оценки влияния осевой нагрузки вагонов, устройства и состояния пути на показатели бокового износа рельсов для условий горно-перевальных участков.

Практическая значимость диссертации:

1. Разработаны практические рекомендации по оптимизации системы технического обслуживания пути на горно-перевальных участках, включая выбор количества и продолжительности «окон» с оценкой пропускной

способности линий.

2. Предложено дополнить систему классификации пути понятием «горно-перевальный участок» – участок железнодорожного пути, имеющий переломы продольного профиля, затяжные подъемы и спуски с приведенным уклоном не менее 8‰ в сочетании с кривыми малого радиуса, расположенный в горных условиях, где требуется применение продолжительного (усиленного) режима тяги и обеспечения особых условий работы тормозных средств (при этом возможно ограничение скорости в режиме тяги из-за нагрева электродвигателей электропоездов) для обеспечения движения поездов расчетного веса. Предложение внедрено распоряжением ОАО «РЖД» № 2888р от 17 декабря 2021 г (в ред. Распоряжения ОАО «РЖД» от 27.07.2022 № 1938/р).

3. Определен новый порядок назначения внеплановых смен рельсов на горно-перевальных участках и в других условиях работы пути с интенсивным боковым износом рельсов, в том числе на полигонах обращения тяжеловесных и длинносоставных поездов. Предложение внедрено – распоряжением ОАО «РЖД» № 2888р от 17 декабря 2021 г (в ред. Распоряжения ОАО «РЖД» от 27.07.2022 № 1938/р).

4. Определен порядок дополнительной дифференциации условий определения периодичности выполнения ремонта железнодорожного пути применительно к горно-перевальным участкам.

Методология и методы исследования. Научное исследование основано на применении теоретических и экспериментальных методов исследования, а также эксплуатационных наблюдений, формирующих в своей совокупности единый комплексный подход к получению результатов, их оценке и формированию научной новизны работы.

Экспериментальная составляющая исследований включает в себя:

- результаты исследований по оценке влияния эксплуатационных факторов и параметров устройства пути на износ рельсов на горно-перевальных участках в условиях особогрузонапряженных линий;

- сравнительный анализ повреждаемости элементов верхнего строения пути на горно-перевальных и равнинных участках особогрузонапряженных линий;

- результаты статистической обработки данных эксплуатационных наблюдений и построение статистических зависимостей;

- статистическую обработку больших массивов данных.

Теоретические методы исследований, примененные в настоящей работе, включают в себя:

- проведение расчетов с использованием программного комплекса

«Универсальный механизм»;

– анализ зависимостей влияния структуры поездопотока и оценки состояния пути на отказы элементов верхнего строения пути на участках различного плана и профиля;

– построение обобщенных моделей оценки влияния осевой нагрузки вагонов, устройства и содержания пути на показатели бокового износа рельсов.

По результатам обобщения полученных массивов данных и их анализа методами математической статистики установлены закономерности развития и накопления расстройств пути на горно-перевальных участках в условиях особогрузонапряженных линий.

Положения, выносимые на защиту:

1. Совокупность результатов теоретических исследований и эксплуатационных наблюдений по влиянию условий эксплуатации на износ элементов верхнего строения пути;

2. Результаты исследования состояния участков пути на Восточно-Сибирской железной дороге в части влияния параметров устройства пути на износы элементов верхнего строения и расстройств пути;

3. Предложения по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта пути на горно-перевальных участках;

4. Закономерности влияния плотности поездопотока на организацию работ по техническому обслуживанию пути.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов исследования подтверждается сходимостью результатов математического моделирования с данными, полученными в ходе экспериментальных исследований и полигонных испытаний. Полученные результаты согласуются с результатами исследований, полученных ранее другими специалистами.

Материалы, составляющие диссертационную работу, доложены и одобрены на XVII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», посвященной памяти профессора Шахунянца Г.М. (29 октября, 19 и 26 ноября 2020 г.), XVIII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», посвященной памяти профессора Шахунянца Г.М. (27-28 октября 2021 г.), четвертой международной конференции «Перспективные направления развития рельсовой индустрии. Технологии производств и эксплуатации» (г. Сочи, 2021 г.), Международной научно-практической конференции «Железнодорожный транспорт и технологии» «RAILWAY TRANSPORT AND TECHNOLOGIES» (RTT-2021)

(г. Екатеринбург, 2021 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Инновации в строительстве инфраструктуры железных дорог» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.), 135 заседании Некоммерческого партнерства «Рельсовая комиссия» (г. Новокузнецк, 2019 г.), 136 заседании Некоммерческого партнерства «Рельсовая комиссия» (г. Анапа, 2020 г.).

Внедрение результатов исследований. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при разработке нормативного документа ОАО «РЖД» – Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (в ред. Распоряжения ОАО «РЖД» от 27.07.2022 г. № 1938/р) и Технологии машинизированного текущего содержания пути на перевальных участках, утвержденной Центральной дирекцией инфраструктуры 12 ноября 2019 г. № ЦДИ-845.

Структура и объем работы

Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 149 страницах машинописного текста, содержит 22 таблицы, 60 рисунков. Список использованных источников состоит из 62 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследования, показана научная новизна и практическая значимость диссертационной работы. Отражены проблемы технического обслуживания пути на горно-перевальных участках особогрузонапряженных линий в связи с развитием тяжеловесного движения и необходимостью увеличения пропускной и провозной способности, обосновывается необходимость проведения дальнейших исследований для решения вопросов технического обслуживания горно-перевальных участков особогрузонапряженных линий.

В первой главе проведен анализ отечественного и мирового опыта содержания конструкции железнодорожного пути в сложных условиях плана и профиля на горно-перевальных участках.

Решение вопросов технического обслуживания железнодорожного пути на горно-перевальных участках особогрузонапряженных линий требует пристального внимания при планировании потребного объема ремонтно-путевых работ на участках с высокой грузонапряженностью, в сочетании с тяжеловесным движением, повышенными осевыми нагрузками, а также сложными топографическими условиями линии.

В мировой практике, как показал анализ нормативной документации, отсутствует термин «горно-перевальный участок».

Очевидно, что для более точной и обоснованной выработки критериев определения «горно-перевального участка» в условиях высокой грузонапряженности и сложных условиях эксплуатации, необходимо было тщательно изучить влияние факторов эксплуатационного воздействия на путь.

Во второй главе описаны результаты эксплуатационных наблюдений за состоянием пути на осбогрузонапряженных ходах в условиях горно-перевального участка в границах Слюдянской дистанции пути и равнинного участка в границах Мысовской дистанции пути Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры, при прочих равных эксплуатационных условиях (по грузонапряженности, осевым нагрузкам, типам обращающегося подвижного состава и т.д.).

На базе ретроспективного анализа за период 2010-2021 гг в работе было проведено исследование влияния на интенсивность бокового износа рельсов таких факторов, как:

- применяемой технологии лубрикации рельсов и периодичности рельсосмазывания (временные периоды 2010-2014 гг, 2015-2019 гг, 2020-2021 гг характеризуются применением различной технологии рельсосмазывания);
- структуры поездопотока (на 2 пути обращаются груженые составы, а на 1 – порожние);
- плана и профиля линии.

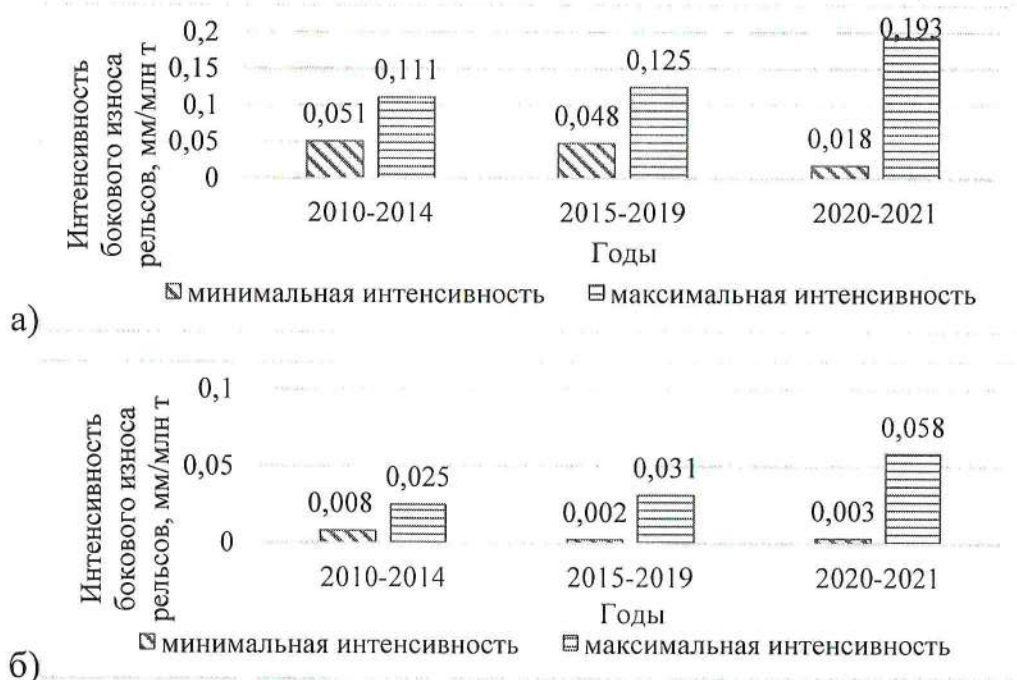


Рисунок 1 – Интенсивность бокового износа рельсов на 2 пути
 а) горно-перевального участка Б.Луг – Слюдянка II
 б) Мысовской дистанции

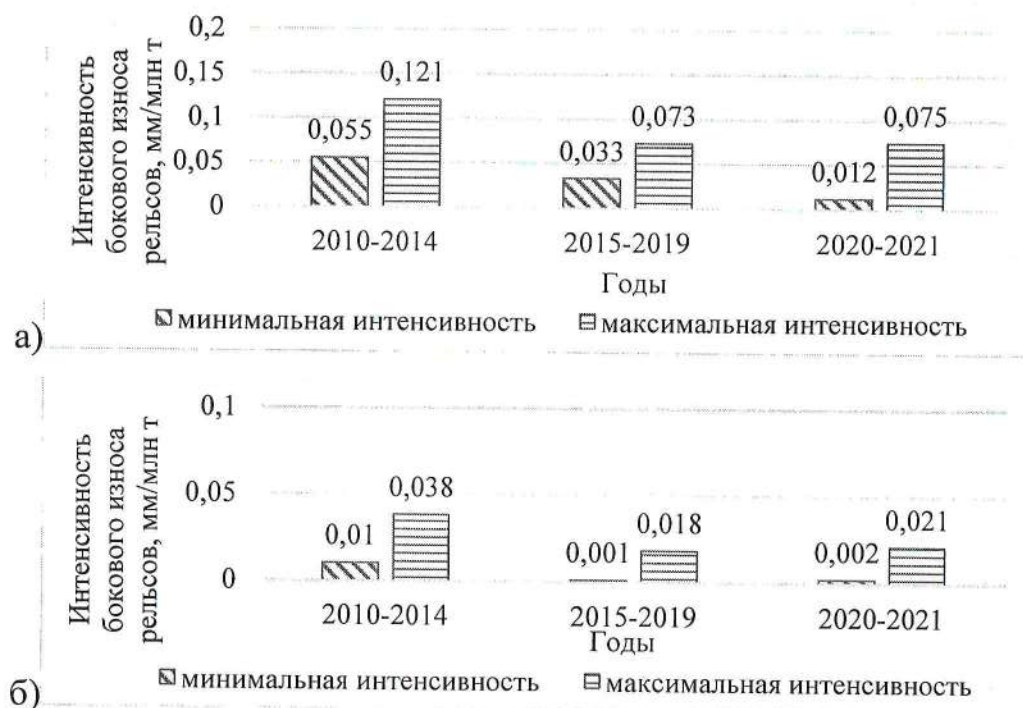


Рисунок 2 – Интенсивность бокового износа рельсов на 1 пути
 а) горно-перевального участка Б.Луг – Слюдянка II
 б) Мысовской дистанции

Анализ проводился с использованием данных об интенсивности износа рельсов в 45 кривых на 1 и 2 пути, в диапазонах радиусов 290-350 м на Слюдянской дистанции и 350-650 м на Мысовской дистанции. Это обусловлено тем, что на Слюдянской дистанции на ряде перегонов доля кривых радиусом менее 350 м достигает 90% и 100% - радиусом менее 1200 м, а на Мысовской дистанции – доля кривых радиусом 350-650 м на ряде участков не превышает 50%.

Результаты анализа представлены в виде графических диаграмм на рисунках 1, 2 (а, б).

По результатам анализа установлено, что:

снижению интенсивности бокового износа рельсов способствует лубрикация рельсов, осуществляемая в достаточном количестве с равными интервалами времени (после 2015 г частота рельсосмазывания на перевальном участке была увеличена до 3-х раз в сутки, что позволило снизить интенсивность бокового износа рельсов на 1 пути почти в 2 раза (до 0,073 мм/млн. т);

до 2015 г интенсивность износа рельсов на 1 пути была такая же или выше, чем на аналогичных кривых 2 пути, что обусловлено значительной разницей в количестве проходящих осей груженых и порожних составов (10 000-м груженых вагонов весом 94 т соответствует 42 000 порожних вагонов с весом нетто 22 т) и свидетельствует о влиянии на износ рельсов количества прошедших осей и их вписывания в кривые;

к 2020-2021 гг износ рельсов на 2 пути значительно выше, чем на 1, что объясняется неравномерными интервалами между проходами вагонов-рельсосмазывателей в составе пассажирских поездов, следующих «пакетным» графиком;

в 2020-2021 гг на обоих путях интенсивность износа рельсов на перевальном участке выше, чем на равнине более чем в 3 раза.

Ретроспективный анализ показал, что более интенсивному боковому износу подвержены рельсы в кривых на горно-перевальном участке, расположенные на участках затяжного подъема и крутого спуска в идентичных условиях плана линии (ст. Андриановская и прилегающие перегоны) и наоборот, в конце участков спуска интенсивность бокового износа рельсов значительно ниже – рисунок 3.

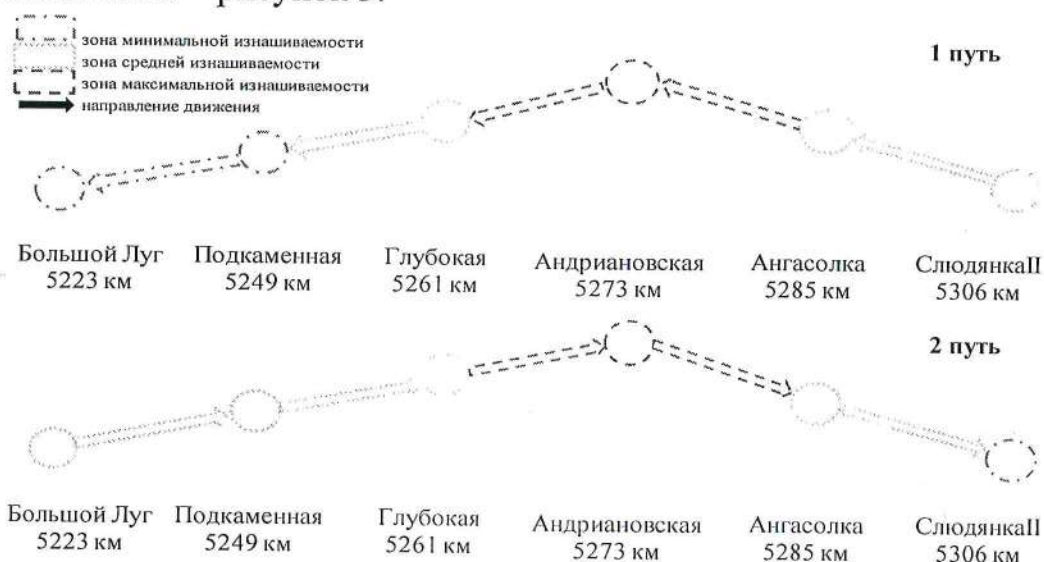


Рисунок 3 – Схематичный профиль горно-перевального участка от ст. Большой Луг до ст. Слюдянка II с делением на зоны, характеризующие степень изнашиваемости рельсов в кривых

По результатам исследования связи между износом рельсов и параметрами устройства пути (уклон профиля, радиус кривой), были получены зависимости изменения величины бокового износа рельсов при наработке тоннажа в условиях горно-перевального и равнинного участков для кривых с различными диапазонами радиусов.

Графики были получены по усредненным данным о величине бокового износа рельсов и тоннажа (по данным 2020-2021 гг) в выборке из большого диапазона кривых с различными параметрами (всего было проанализировано более 100 кривых).

Анализ зависимостей показал, что в опытных кривых на 2 пути перевального участка величина бокового износа рельсов до 17 мм была достигнута при наработке менее 200 млн. т брутто, а на равнинном участке боковой износ рельсов не превысил 8 мм – рисунок 4 а, б.

На 1 пути перевального участка величина бокового износа рельсов при наработке тоннажа 250-500 млн. т брутто составила 10 – 14 мм, на равнинном – 2-5 мм.

На рисунках 5 и 6 приведены зависимости, полученные по результатам исследования интенсивности бокового износа рельсов в кривых различного радиуса на 1 и 2 пути горно-перевального и равнинного участков.

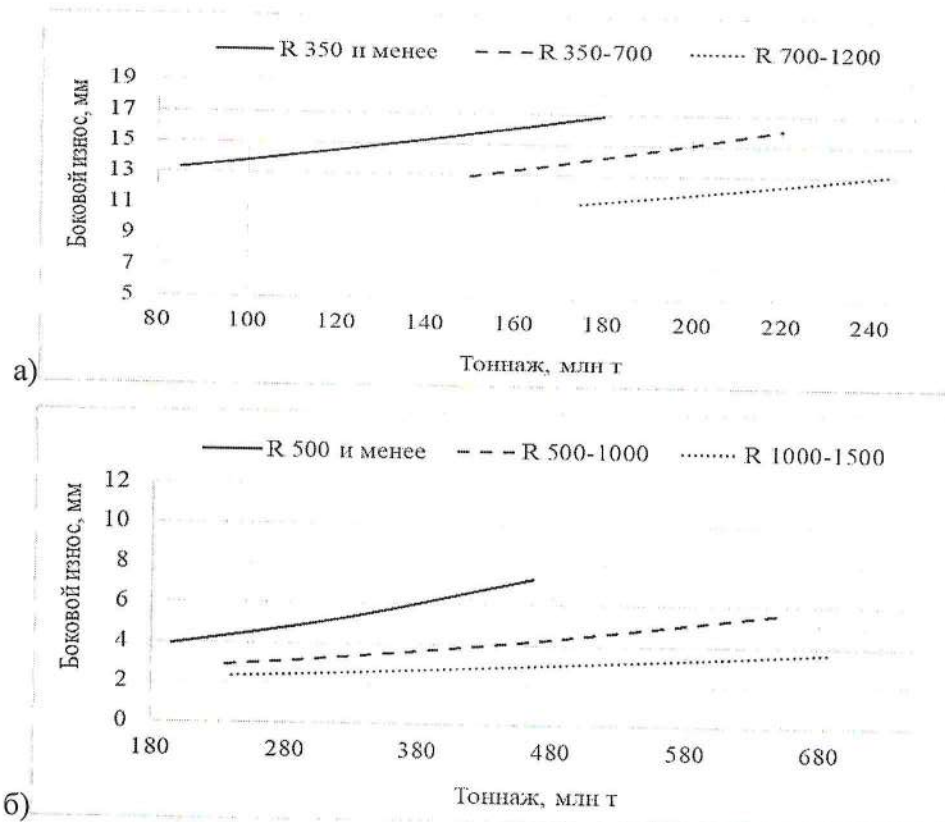


Рисунок 4 – Усредненные зависимости фактической величины бокового износа (мм) рельсов от наработки тоннажа на 2 пути
а) перевального участка; б) равнинного участка

Точками на рисунках обозначены средние значения интенсивности бокового износа, полученные в различных диапазонах радиусов.

Результаты исследования показали, что на горно-перевальном участке средняя интенсивность бокового износа составляет 0,12 мм/млн т на 2 (грузовом) пути, и 0,06 мм/млн т на 1 пути, в то время как на равнинном участке средняя интенсивность бокового износа рельсов не превышает 0,032 мм/млн т на 2 пути, и 0,013 мм/млн т на 1 пути.

Обработка массива данных проводилась путем группировки кривых, находящихся в одном диапазоне радиусов и величине пропущенного тоннажа.

По результатам анализа были получены зависимости интенсивности бокового износа рельсов от радиуса кривых для 1 и 2 пути. Зависимости интенсивности бокового износа рельсов в зависимости от радиуса кривой на горно-перевальном и равнинном участках приведены на рисунках 5 и 6.

Полученные результаты эксплуатационных наблюдений указывают на существование тесной статистической связи между интенсивностью износа рельсов и параметрами устройства пути. Повышенная интенсивность изнашивания рельсов на перевальном участке указывает на существование потребности в более частом проведении работ по техническому обслуживанию пути.

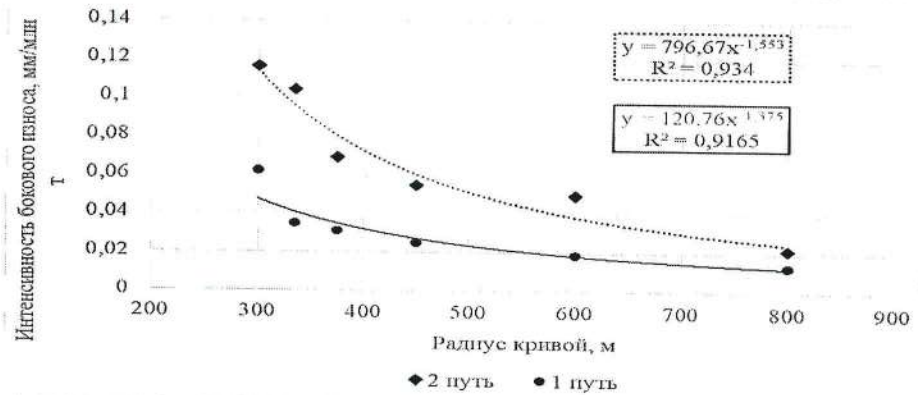


Рисунок 5 – Интенсивность бокового износа рельсов в зависимости от радиуса кривой на перевальном участке

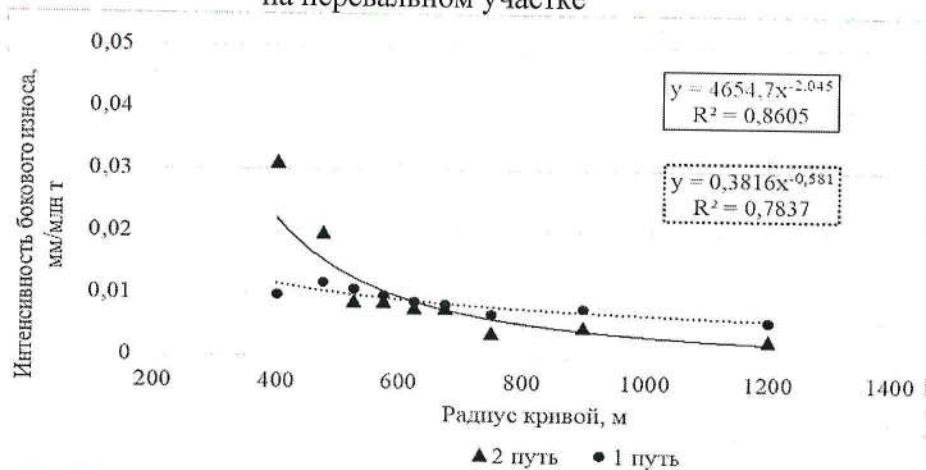


Рисунок 6 – Интенсивность бокового износа рельсов в зависимости от радиуса кривой на равнинном участке

По результатам исследования динамики накопления расстройств на перевальном и равнинном участках по данным проходов вагонов-путеизмерителей было установлено, что количество отступлений 2 степени (шт/км) и интенсивность (мм/млн т) роста отдельных неровностей в условиях перевального участка значительно выше, чем на равнинной местности – таблицы 1,2.

Анализ состояния пути на 1 и 2 пути показал, что интенсивность накопления расстройств на 1 (порожном) пути в ряде случаев выше, чем на 2 (грузовом). Причина этого заключается в том, что на более напряженном 2 пути возникает необходимость проведения большего объема ремонтно-путевых работ по устранению отступлений геометрии рельсовой колеи и планово-

предупредительной выправке пути.

По результатам анализа было установлено, что скорость прироста просядок, как на горно-перевальном, так и на равнинном участке, превышает интенсивность развития неровностей по уровню и рихтовке.

Таблица 1 – Среднемесячное количество отступлений 2 степени по типам неисправностей, шт/км

Дистанция пути		Типы неисправностей/ Среднее количество отступлений 2 степени в месяц, шт/км				
		Ширина колеи	Перекосы	Уровень	Просадки	Рихтовка
ПЧ-9 (горно-перевальный участок)	1 путь	2,2	4,2	1,0	9,1	2,9
	2 путь	3,8	4,9	0,8	7,8	1,6
ПЧ-10	1 путь	0,5	1,8	1,6	1,0	0,8
	2 путь	0,3	1,9	1,5	1,7	0,4

Таблица 2 – Скорости роста амплитуд неровностей на грузовом пути, мм/млн т

Дистанция пути	Рост отступлений по уровню, мм/млн т		Рост отступлений по рихтовке, мм/млн т		Рост отступлений по просядкам, мм/млн т	
	Средний	Максимальный	Средний	Максимальный	Средний	Максимальный
ПЧ-9 (горно-перевальный участок)	0,81	1,17	0,93	1,31	1,45	2,33
ПЧ-10	0,80	1,02	0,66	1,17	1,09	1,46

В ходе исследования стабильности геометрии рельсовой колеи по среднему значению и среднеквадратическому отклонению количества отступлений 2 степени на рассматриваемых участках, были получены зависимости количества выявленных отступлений в функции уклонов продольного профиля – рисунки 7,8.

Например, на подъеме 5‰ на перевале количество отступлений 2 степени – 12-13 шт/км, а на равнине – 6-7 шт/км. В тоже время, разброс данных достаточно велик, например, на перевале на подъеме 10‰ коэффициент вариации $C_v \sim 0,7$, а на равнине $\sim 0,6$ на подъеме 5‰. Это указывает на наличие других влияющих факторов.

Полученные результаты подтверждают проведенные ранее исследования Мугинштейна Л.А., Романа Ю.С. (и влияние продольных сил на опасность сходов порожних вагонов в поездах) и Певзнера В.О. (о влиянии режимов движения поездов на формирование расстройств пути) о том, что на горно-перевальных участках работа локомотивов на максимальных режимах тяги на

крутых подъемах, а также применение рекуперативного торможения на спусках дополнительно способствуют возникновению расстройств геометрии рельсовой колеи. Имеет место и обратная связь – наличие большого количества отступлений в пути приводит к росту сил, действующих на путь со стороны подвижного состава.

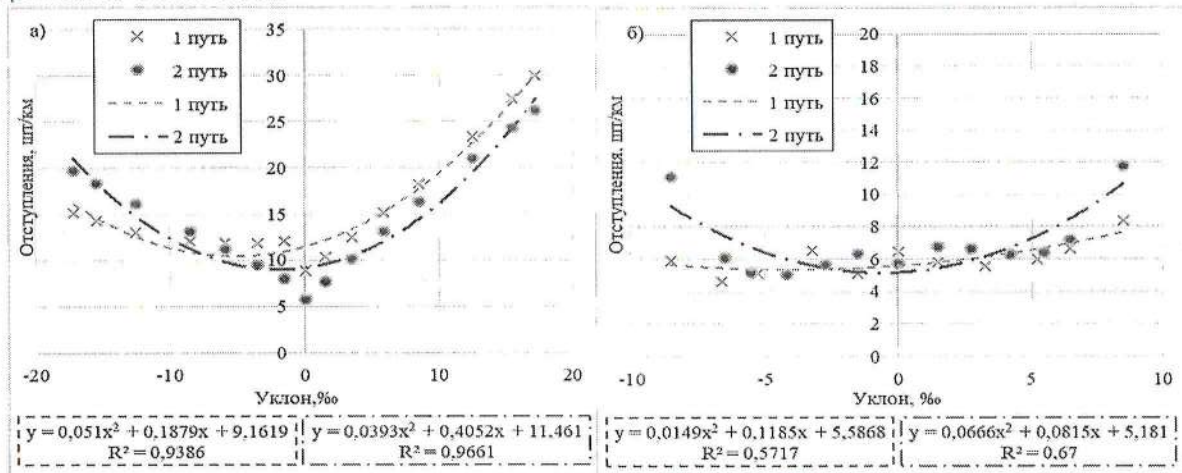


Рисунок 7 – Зависимость среднемесячного количества отступлений 2 степени (шт/км) от величины уклона профиля в 2019 году на а) перевальном участке б) равнинном участке

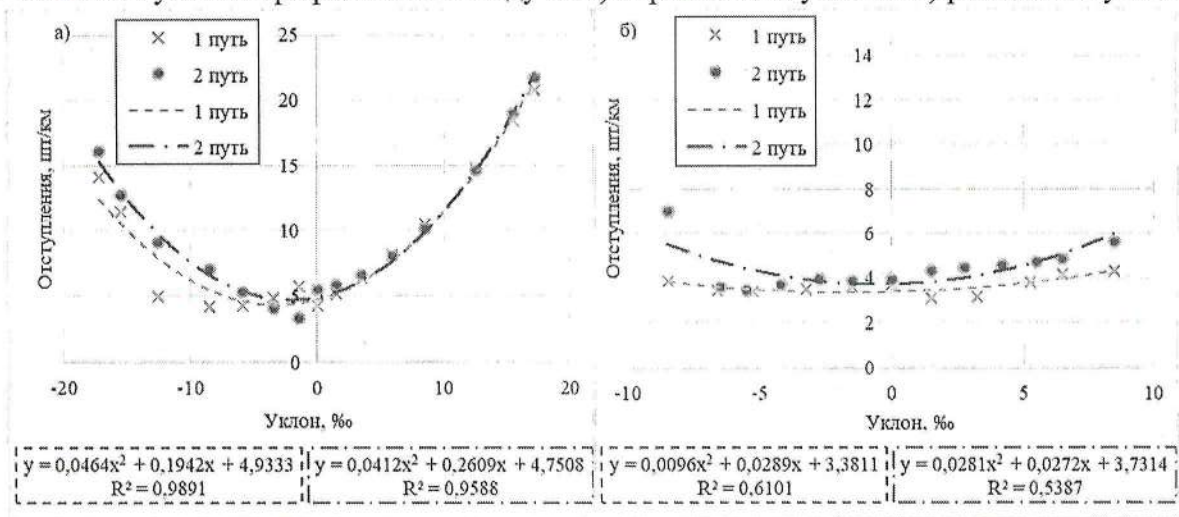


Рисунок 8 – Зависимость среднеквадратического отклонения (СКО) количества отступлений 2 степени (шт/км) от величины уклона профиля в 2019 году на а) перевальном участке б) равнинном участке

По результатам исследования выхода элементов верхнего строения пути на горно-перевальном и равнинном участках было получено, что более высокая интенсивность отказов приходится на горно-перевальный участок, по сравнению с равнинным, а именно:

по состоянию на 01.01.2022 г, количество дефектных рельсов, лежащих в пути, составило: на перевальном участке - 772 шт протяженностью 16,7 км нити, на равнинном участке – 1055 шт протяженностью 23,7 км нити, что характеризует объемы работ по смене дефектных рельсов;

выход рельсов в острodefектные на 1 млн т пропущенного тоннажа, с учетом действующей грузонапряженности, составил: на 1 пути 0,91 шт/млн т на

горно-перевальном участке против 0,39 шт/млн т на равнинном; на 2 пути - 1,41 шт/млн т на горно-перевальном участке против 0,36 шт/млн т на равнинном – таблица 3;

Таблица 3 – Выход остродефектных рельсов (ОДР)

		Выход ОДР за год, шт	Выход ОДР с начала укладки, шт	Средний выход ОДР, шт/млн т
Горно-перевальный участок (от ст. Б.Луг до ст. Слюдянка II)	1 путь	100	244	0,91
	2 путь	125	263	1,14
равнинный участок (от ст. Байкальск до ст.Тимлюй)	1 путь	66	254	0,39
	2 путь	60	194	0,36

рост протяженности пути с дефектными рельсами за период 2017-2019 гг отмечается на 2 пути обоих участков, что вызвано увеличением нагрузок на путь со стороны тяжеловесного подвижного состава;

количество негодных железобетонных шпал на 2 пути горно-перевального участка превысило аналогичный показатель на равнине в 2019 году в 2 раза, а в процентном соотношении от доли всех негодных шпал на участке – в 5 раз – таблица 4. Значительное количество негодных шпал на 1 пути объясняется практически полным отсутствием «тяжелых» типов ремонтов за рассматриваемый период (2017-2019 гг). Преобладающий вид работ на 1 пути – планово-предупредительная выправка, шлифовка и смена рельсов в кривых.

Таблица 4 – Динамика количества выявленных негодных шпал (шт) за период 2017-2019 гг

	Дистанция пути	Тип подрельсового основания	Количество негодных шпал, шт/ % от общего количества шпал		
			Годы		
			2017	2018	2019
1 путь	Горно-перевальный участок (от ст. Б.Луг до ст. Слюдянка II)	жб	997 / 0,63%	1411 / 0,9%	3105 / 2%
		дер	-	-	-
	равнинный участок (от ст. Байкальск до ст.Тимлюй)	жб	84 / 0,03%	121 / 0,04%	165 / 0,05%
		дер	5830 / 12,5%	3295 / 7%	3306 / 7%
2 путь	Горно-перевальный участок (от ст. Б.Луг до ст. Слюдянка II)	жб	69 / 0,04%	189 / 0,1%	299 / 0,2%
		дер	-	-	-
	равнинный участок (от ст. Байкальск до ст.Тимлюй)	жб	55 / 0,02%	78 / 0,02%	156 / 0,04%
		дер	122 / 6%	-	-

к 2022 году доля негодных железобетонных шпал на горно-перевальном

участке составила 0,51% (по обоим путям), на равнинном участке – 8,8% по деревянным шпалам и 0,12% по железобетонным.

Анализ негодных узлов креплений на участках опытных дистанций указывает на факт большей повреждаемости узлов креплений на пути с деревянным основанием со креплением ДО и на железобетонном основании со креплением КБ-65.

Таблица 5 – Процент негодных элементов креплений на опытных участках

Тип крепления	Слюдянская дистанция (перевальный участок)		Мысовская дистанция	
	1 путь	2 путь	1 путь	2 путь
	% негодных узлов креплений			
ЖБР-65	1,0	-	5,4	4,8
ЖБР-65ПШМ	-	6,1	3,5	2,5
ЖБР-65Ш	-	-	3,7	2,6
КБ-65	7,5	4,2	10,3	3,9
ДО	-	-	12,1	5,1

Высокая частота отказов элементов верхнего строения пути на перевальном участке указывает на необходимость разработки специализированной системы планирования работ по дополнительной смене рельсов в кривых на горно-перевальных участках.

Анализ периодичности смены рельсов в условиях перевального участка за период 2017 – 2019 гг показал, что разница между нормативной и реально существующей наработкой тоннажа в периоды между сменами рельсов в отдельных случаях, может достигать 63%. Это говорит о том, что нормативы по смене рельсов, установленные в середине прошлого века, явно устарели.

Частота проведения выправочных работ перевального участка соответствует периодичности около 2-х раз в год на подъемах и спусках, что соответствует минимальной наработке тоннажа 75-90 млн т (при норме для среднесетевых условий эксплуатации – 175 млн т).



Рисунок 9 – Пропущенный тоннаж в период между выправками пути (ППВ), млн т в 2017-2019 гг, 2 путь

В аналогичных условиях на равнине периодичность выправки составила 2 – 2,5 года, что, с учетом существующей грузонапряженности, соответствует наработке более 300 млн т – рисунок 9.

Проведенные эксплуатационные наблюдения за состоянием пути на опытных участках позволяют сделать вывод о необходимости дополнительных смен рельсов в кривых малого радиуса в условиях горно-перевального участка, а также оптимизации периодичности ремонтно-путевых работ, в виду высокой вероятности возникновения отказов элементов верхнего строения пути. И, исходя из необходимости обеспечения требуемой периодичности ремонтно-путевых работ, по условиям работы элементов верхнего строения пути, горно-перевальные участки необходимо выделить в *отдельную подгруппу* в категории «особогрузонапряженные» с разработкой специальных мер по организации технического обслуживания пути и определением оптимального типа конструкции верхнего строения пути.

В третьей главе приведены результаты расчетов взаимодействия подвижного состава и пути при движении поезда по кривым участкам различного радиуса с отступлениями в плане от норм содержания.

Как известно, до настоящего времени испытания нового или модернизированного подвижного состава проводились в соответствии с ГОСТ Р 55050-2012 с отдельными единицами подвижного состава. Проведенные ранее в ВНИИЖТе испытания подвижного состава на пути с неровностями, также касались отдельных единиц подвижного состава. Испытания, проводившиеся с тяжеловесными и длинносоставными поездами, касались, в основном, продольных сил в поезде.

Для оценки воздействия на путь подвижного состава в условиях плана горно-перевального участка, были проведены необходимые расчеты с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» (модули UmLoco и Train3D).

Модель пути строилась по данным, полученным с Мысовской и Слюдянской дистанций, план и профиль задавался для участка длиной 10 километров для получения достаточного количества статистических данных с учетом того, что расчет производился не для одного вагона, а для поезда.

С использованием результатов расчетов, было проведено сравнение фактической и теоретической интенсивности бокового износа рельсов в условиях Мысовской и Слюдянской дистанций пути (рисунок 10).

Сравнение показало, что в условиях горно-перевального участка под действием значительных боковых сил разница между фактическими и теоретическими значениями составляет около 30%, а на равнине, где силы значительно меньше – около 10 %.



Рисунок 10 – Разница между фактической и теоретической величиной интенсивности бокового износа рельсов

В расчетах также была проведена оценка влияния неровностей в плане на уровень боковых сил. При этом отмечено, что неровность одной величины по-разному влияет на показатели взаимодействия в зависимости от радиуса кривой.

При анализе результатов учтено, что величина неровности в плане составляет разницу смежных стрел, разделенную на 1,5: $\Delta f / 1,5$.

Так, например, при $\Delta f = 25$ мм – неровность составит 17 мм.

Результаты расчетов показали, что при скорости 60 км/ч – основной рабочей скорости грузовых поездов – изменение боковых сил от наличия и величины неровностей в кривой радиуса 300 м значительно меньше, чем в кривой радиуса 1200 м. Это объясняется тем, что в кривой радиуса 300 м стрела изгиба, измеренная стандартным способом и рассчитанная по формуле:

$$f = \frac{a^2}{8R}$$

составляет 167 мм, а в кривой радиусом 1200 м – 42 мм.

В этом случае неровность 17 мм составляет 10% от основной стрелы в кривой радиуса 300 м и 40% в кривой радиуса 1200 м (рисунок 11).

Это означает, что в современных условиях эксплуатации тяжеловесных длинносоставных поездов принцип применения одинаковых нормативов содержания пути в плане в кривых, независимо от радиуса требует корректировки, естественно, с необходимостью экспериментальной проверки.

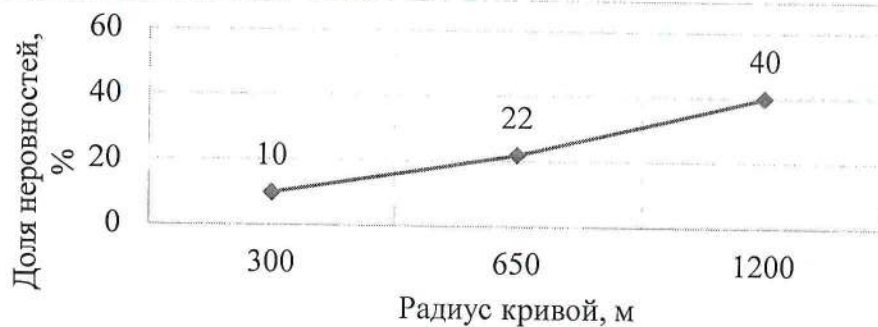


Рисунок 11 – Доля неровности в % от основной стрелы изгиба

В четвертой главе описана организация технического обслуживания пути на особогрузонапряженных участках железных дорог, дана оценка фактически выполняемым объемам работ на пути и предложена оптимальная система технического обслуживания пути на горно-перевальном участке особогрузонапряженных линий с разделением их на несколько диапазонов.

По результатам расчета и анализа фактических данных о количестве ремонтно-путевых работ в границах горно-перевального участка, получено, что основу текущего содержания на горно-перевальном участке составляют работы по смене рельсов в кривых – 353,32 км (41%), выправке пути – 253,77 км (29%) и шлифовке рельсов – 125,33 км (14%).

Рекомендовано основную часть работ на таких участках при фактической плотности совокупного потока по обоим путям свыше 8 поездов/ч выполнять в створовые «окна» продолжительностью 4 ч.

Предложена концепция назначения выправочных работ в целях профилактики возникновения расстройств пути.

В границах горно-перевального участка частота смены рельсов в кривых по боковому износу на грузовом пути составляет от 7 месяцев до 20 месяцев, что, при существующей грузонапряженности, соответствует наработке тоннажа 100-150 млн. т брутто. Потребность в увеличении частоты смены рельсов в кривых на перевальном участке приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание пути.

В рамках исследовательской работы разработан порядок определения частоты внеплановых смен рельсов на горно-перевальных участках, который определяется по следующей формуле (1):

$$n_{\text{вп}} = T/t_{\text{см}} - N_{\text{норм}} \quad (1)$$

где: $n_{\text{вп}}$ - количество внеплановых смен рельсов, шт;

T — расчетный тоннаж между КРН или КРС, млн т;

$t_{\text{см}}$ — фактический тоннаж между сменами рельсов на рассматриваемом участке в кривых данного радиуса в среднем за 2 последних года (при постоянной грузонапряженности и величине износа при смене – 16 мм), млн. т;

$N_{\text{норм}}$ — нормативное количество смен рельсов в среднесетевых условиях.

Если по каким-либо причинам фактическая частота внеплановых смен рельсов ($n_{\text{вп фактич}}$) меньше, чем расчетная ($n_{\text{вп расч}}$), тогда общее количество потребных смен рельсов составит:

$$N_{\text{потр}} = N_{\text{норм}} + n_{\text{вп фактич}} \quad (2)$$

но, в этом случае, при отмене одной промежуточной дополнительной смены рельсов, какой-то период времени поезда придется пропускать с ограничением скорости до 50 км/ч.

Например, при межремонтном тоннаже 750 млн т, грузонапряженности

150 млн. т/год, $N_{\text{потр}} = 4$, вместо 5, мы получим, что в период пропуска 150 млн. т поезда будут следовать со скоростью 50 км/ч вместо 60 км/ч. В этом случае, экономические потери дороги будут определяться по формуле:

$$\Delta = 3,8 * (V_1^2 - V_2^2) * \Gamma * 10^{-6} * K_{\Delta(T)} \quad (3)$$

При стоимости электроэнергии – 5 руб. и стоимости поезда-часа в условиях Восточно-Сибирской железной дороги – 6690,2 руб., в условиях действия ограничения скорости на участке длиной 1000 м, при плотности поездопотока – 90 пп/сут, грузонапряженности 150 млн т/год и действии ограничения скорости в течение 1 года, получим дополнительные затраты в размере 15,3 млн руб.

В диссертационной работе рассмотрены вопросы определения суммарного эффективного времени на проведение работ и даны рекомендации по их выполнению на особогрузонапряженных участках, проведен расчет потребного количества «окон» в неделю и определена расчетная пропускная способность в недельном цикле.

Потребное количество «окон» при грузонапряженности 80, 120 и 180 млн т/год и интервале 10 минут приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Количество «окон» на участках с различной грузонапряженностью

Грузонапряженность, млн т·км груза брутто/км год	Число «окон» в неделю
80	1,5
120	2
180	2,5

Из расчета предоставления «окон» по 4 часа при интервалах между поездами 10 и 8 минут и 6-дневной рабочей неделе для условий особогрузонапряженных линий на Забайкальской и Восточно-Сибирской железных дорогах, пропускная способность (n , пп/сут) в недельном цикле составит:

$$n = \frac{(1440 * 6 - 4 * 60 * m) * k - N}{t} \quad (4)$$

где: 1440 – число минут в сутках;

6 – число дней в неделе;

4*60 – продолжительность окна, мин;

m - количество «окон» в неделю (таблица 7);

k - коэффициент запаса;

N – дополнительные потери времени, возникающие в связи с появлением возможных нештатных ситуаций, определяется по формуле 5:

$$N = t_{\text{доп}} * n_{\text{доп}} \quad (5)$$

где: $t_{\text{доп}}$ – продолжительность потерь времени на устранение отказов технических средств в неделю, мин;

$n_{\text{доп}}$ – количество отказов технических средств в неделю, шт;

t – интервал между поездами, мин.

Таким образом, по теоретическим расчетам, в условиях эксплуатации Восточного полигона при межпоездном интервале 10 минут обеспечивается расчетная пропускная способность 129-130 пар поездов в сутки, при межпоездном интервале 8 минут – 161-162 пар поездов в сутки, что при среднем весе поезда 5000 т, обеспечивает даже перспективную грузонапряженность 210 млн т/год.

В пятой главе приведены порядок и результаты расчетов экономического эффекта от внедрения разработанной системы дополнительной смены рельсов на горно-перевальных участках с целью недопущения длительного действия предупреждений об ограничении скорости по боковому износу (до 50 км/ч, согласно [Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 28 февраля 2020 г. № 436р]).

Расчет основан на сопоставлении экономических потерь от действия предупреждения об ограничении скорости из-за сверхнормативного бокового износа и затрат на внеплановую смену рельсов.

По результатам расчетов было получено, что в условиях грузонапряженности 180 млн. т/год и фактическом тоннаже между сменами рельсов – 150 млн. т (период между капитальными ремонтами – 750 млн. т), потребуется 5 смен рельсов вместо 2 по среднесетевым нормативам.

Установлено, что в таких условиях, введение ограничения скорости по боковому износу до 50 км/ч (при установленной скорости 60 км/ч) на участке действия предупреждения длиной 1000 м (группа из 5 кривых со средней длиной по 200 м) приведет к расчетным экономическим потерям 18,2 млн. рублей ежегодно. Введение 3-х дополнительных смен рельсов позволит экономить 6,67 млн. рублей в год.

С учетом вышеизложенного, расчетный период окупаемости введения 3-х дополнительных смен рельсов в условиях горно-перевального участка составит 3 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования влияния условий эксплуатации на состояние пути и потребность в ремонтно-путевых работах в сложных условиях горно-перевального участка, позволили получить следующие итоги и рекомендации:

1. Разработана научно-обоснованная система организации технического обслуживания пути на горно-перевальных участках особогрузонапряженных линий, предусматривающая организацию работ в «створовые окна» продолжительностью 4 часа в недельном цикле вместо коротких ежедневных

«окон», увеличение частоты смены рельсов по износу с учетом фактических показателей с оценкой экономического эффекта (главы 4 и 5).

2. Сформулировано и введено в нормативную документацию – Правила ремонта железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 № 2888/р (в ред. Распоряжения ОАО "РЖД" от 27.07.2022 № 1938/р) понятие «горно-перевальный участок», определяемый как участок железнодорожного пути, имеющий переломы продольного профиля, затяжные подъемы и спуски с приведенным уклоном не менее 8‰ в сочетании с кривыми малого радиуса, расположенный в горных условиях, где требуется применение продолжительного (усиленного) режима тяги и обеспечения особых условий работы тормозных средств (при этом возможно ограничение скорости в режиме тяги из-за нагрева электродвигателей электровозов) для обеспечения движения поездов расчетного веса. (п. 2.8).

3. Введен порядок определения количества внеплановых смен рельсов на горно-перевальных участках и в других условиях работы пути с интенсивным боковым износом рельсов в том числе на полигонах обращения тяжеловесных и длинносоставных поездов (п. 5.8).

4. Определен порядок дополнительной дифференциации условий определения периодичности выполнения ремонта железнодорожного пути применительно к горно-перевальным участкам.

5. На основании систематизированных результатов мониторинга состояния пути на горно-перевальных участках, раскрыты закономерности изменения интенсивности износа рельсов и появления расстройств пути.

6. На основании результатов эксплуатационных наблюдений и расчетов установлено влияние структуры поездопотока, определяемой пропуском порожнего и груженого потока поездов, на накопление расстройств пути, включая износы рельсов.

7. Получены основные принципы оценки влияния на износ и расстройство пути системы организации технического обслуживания пути в условиях ограниченного количества перерывов в движении для производства работ.

8. Определен экономический эффект от внедрения разработанной системы дополнительной смены рельсов на горно-перевальных участках, который составляет 6,67 млн. рублей в год.

9. Перспективой дальнейшего исследования является создание систем организации технического обслуживания пути на горно-перевальных участках в условиях особогрузонапряженных линий с годовой наработкой более 200 млн. т брутто.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:**а) в рецензируемых научных изданиях**

1. Певзнер, В.О. Деформативность пути на участках обращения тяжеловесных поездов / В.О. Певзнер, А.И. Лисицын, Е.Н. Гринь, В.В. Третьяков, И.Б. Петропавловская, Т.И. Громова // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 9. – С. 36-41.

2. Лисицын, А.И. Перспективы развития конструкции верхнего строения пути и его элементов / Лисицын А.И. // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 10. – С. 2-7.

3. Андреев, В.Е. Комплексная система электрообогрева и лубрикации стрелочных переводов / В.Е. Андреев, А.И. Лисицын // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 2. – С. 5-7.

4. Лисицын, А.И. О взаимодействии в системе «колесо-рельс» на участках высокоскоростного движения / А.И. Лисицын, А.Ю. Абдурашитов // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 3. – С. 2-6.

5. Певзнер, В.О. Определение потребности в путевых работах в современных условиях / В.О. Певзнер, А.И. Чечельницкий, А.И. Лисицын, Е.Н. Гринь, И.Б. Петропавловская, Р.А. Баронайте // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 1. – С. 14-20.

6. Лисицын, А.И. О конструкции верхнего строения пути для участков со сложным планом и профилем / А.И. Лисицын, А.Ю. Абдурашитов // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 2-6.

7. Певзнер, В.О. Организация технического обслуживания пути на особогрузонапряженных участках / В.О. Певзнер, А.И. Лисицын, Е.А. Сидорова, Р.А. Баронайте, О.Н. Ваганова, К.В. Шапетько, Е.Н. Гринь // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 9. – С. 18-21.

б) в других изданиях и материалах конференций

8. Лисицын, А.И. Анализ факторов, влияющих на работу рельсов различных условиях эксплуатации / А.И. Лисицын, А.Ю. Абдурашитов // Сборник научных докладов по материалам 135-го заседания НП «Рельсовая комиссия». – 2020. С. 45-65.

9. Лисицын, А.И. Совершенствование системы ведения путевого хозяйства на горно-перевальных участках, А.И. Лисицын // Сборник научных статей аспирантов РУТ (МИИТ) Аспирантские чтения. – 2021. – № 4. – С. 155-161.

10. Лисицын, А.И. Влияние неровностей пути в плане на интенсивность износа рельсов / А.И. Лисицын, Е.А. Сидорова // Инновационный транспорт. – 2022. – № 1. – С. 31-37.

11. Ваганова, О.Н. Устройство пути в кривых участках пути на основе двухуровневой системы скоростей (Arrangement of the Track in Curved Sections of the Track Based on a Two-Level System of Speeds) / О.Н. Ваганова, А.И. Лисицын (O.N. Vaganova and A. I. Lisitsyn) // AIP Conference Proceedings, Transport research procedia. – 2022

Лисицын Андрей Иванович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУТИ СО СЛОЖНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ
УСЛОВИЯМИ ГОРНО-ПЕРЕВАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ**

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____ 2023 г.

Заказ №

Формат 60x90/16

Усл. печ. л. – 1,5

Тираж 80 экз.

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9, РУТ (МИИТ)