

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет транспорта»
РУТ (МИИТ)

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

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук, профессор
Певзнер Виктор Ошеревич

Москва 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. Анализ отечественного и мирового опыта содержания конструкции железнодорожного пути в сложных условиях плана и профиля на горно-перевальном участке.....	15
1.1. История строительства и особенности эксплуатации горно- перевального участка Большой Луг – Слюдянка Восточно-Сибирской железной дороги.....	15
1.2. Развитие системы организации и технологии технического обслуживания верхнего строения пути на горно-перевальных участках ...	18
1.3 Анализ мирового опыта тяжеловесного движения в сложных условиях плана и профиля	37
Выводы по главе.....	52
ГЛАВА 2. Анализ состояния пути и условий эксплуатации на полигонах Слюдянской и Мысовской дистанций пути Восточно-Сибирской железной дороги.....	53
2.1. Характеристики участков анализа	55
2.2. Износ рельсов в кривых в условиях тяжеловесного движения на горно-перевальных участках Восточного полигона.....	57
2.2.1. Ретроспективный анализ влияния различных факторов на боковой износ рельсов.....	57
2.2.2. Влияние частоты лубрикации рельсов	59
2.2.3. Влияние структуры поездопотока.....	60
2.2.4 Влияние профиля линии.....	61
2.3. Статистический анализ зависимости интенсивности бокового износа рельсов от параметров устройства пути.....	63

2.3.1. Состояние геометрии рельсовой колеи на опытных участках	69
2.3.2. Распределение количества отступлений по типам неисправностей.....	70
2.3.3. Анализ скоростей роста амплитуд неровностей.....	73
2.3.4. Зависимости количества отступлений от уклона продольного профиля	73
2.3.5. Анализ влияния отступлений в плане на износ рельсов.....	78
2.4 Оценка состояния конструкции пути по результатам анализа выхода элементов верхнего строения пути на горно-перевальном участке	81
2.4.1. Выход рельсов	82
2.4.2. Негодные шпалы и скрепления	85
2.5. Сравнительный анализ потребности в ремонтных работах на опытных дистанциях.....	90
Выводы по главе.....	93
ГЛАВА 3. Расчеты влияния различных факторов на показатели бокового износа рельсов.....	97
3.1. Определение влияния осевой нагрузки на интенсивность износа рельсов.....	97
3.2. Определение влияния плана пути на интенсивность износа рельсов.....	101
Выводы по главе.....	104
ГЛАВА 4. Совершенствование системы технического обслуживания пути со сложными эксплуатационными условиями горно-перевальных участков.....	106
4.1. Оценка фактических объемов работ по техническому обслуживанию пути	106

4.2. Рекомендации по оптимизации системы технического обслуживания пути на горно-перевальном участке	112
4.2.1. Оптимизация порядка назначения выправочных работ	112
4.2.2. Порядок назначения дополнительных смен рельсов	115
4.3. Возможности проведения работ по техническому обслуживанию пути на особогрузонапряженных участках	116
4.3.1. Определение суммарного эффективного времени на проведение работ	117
4.3.2. Расчет возможной продолжительности «окна»	120
4.3.3. Определение затрат времени на устранение нештатных ситуаций, угрожающих безопасности движения	121
4.3.4. Расчет пропускной способности для особогрузонапряженных линий	124
Выводы по главе	130
Глава 5. Техничко-экономическая оценка комплекса мер по совершенствованию системы технического обслуживания на горно-перевальных участках	132
Выводы по главе	139
Заключение	140
Список использованных источников	142

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

В настоящее время на сети железных дорог 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.

Классическая система организации технического обслуживания пути, состоящая из двух частей – текущего содержания пути и проведения ремонтных работ зачастую в современных условиях работы железных дорог не работает. Для текущего содержания пути ограничен лимит времени между пропуском поездов, а ремонт (реконструкция) пути за последние годы выполнялись в среднем в объеме около 40 км на 1000 км пути. При таких темпах обновление верхнего строения пути сети займет около 20 лет. Даже если принять, что основная работа на сети выполняется на полигоне протяженностью около 40 тыс. км, потребуется 20 лет. И это – без учета затрат на ремонт (реконструкцию) искусственных сооружений и земляного полотна.

При этом нельзя забывать, что новый подвижной состав обращается не только по отремонтированному железнодорожному пути, но и по участкам с верхним строением пути укладки конца прошлого века.

Освоение растущего объема перевозок на основных направлениях сети в условиях недостаточной пропускной и провозной способности ряда участков и целых направлений неизбежно ставит вопрос о поиске путей обеспечения требуемых объемов перевозок. Если не рассматривать варианты строительства дополнительных путей и развития станций, остаются два варианта решения: повышение массы поездов при ограниченной осевой

нагрузке и повышение массы поездов за счет использования вагонов с повышенной осевой нагрузкой.

В первом случае, потребуются капиталовложения на удлинение станционных путей и реконструкции горловин станций. Эти затраты могут быть определены достаточно точно при разработке проектов реконструкции.

Наиболее дискуссионным является вопрос о дополнительных затратах на техническое обслуживание пути при эксплуатации вагонов с повышенной осевой нагрузкой. На этот счет высказываются диаметрально противоположные точки зрения – от минимальных последствий с точки зрения производителей вагонов, до катастрофических последствий с точки зрения специалистов по эксплуатации пути [1]. При этом обе стороны ссылаются на зарубежный опыт, зачастую упуская из виду, что зарубежный опыт необходимо разделять на два периода – первый относится к повышению осевых нагрузок вагонов на существующих линиях в семидесятых-восемидесятых годах прошлого века и второй – опыт эксплуатации специально построенных или модернизированных линий для эксплуатации тяжеловесных поездов из вагонов с повышенными нагрузками – это конец XX начало XXI века. Естественно, и результаты получаются различными. При этом часто упускают из виду классические работы отечественных ученых [2, 3]

Ряд специалистов предлагает отказаться от обследования конкретных участков предполагаемого повышения осевых нагрузок и ограничиться расчетами на моделях, построенных на общесетевых зависимостях.

В условиях непрерывного роста объемов перевозок назрела необходимость совершенствовать конструкцию и технологию содержания железнодорожного пути. Это требует серьезного переосмысления в вопросах соблюдения технологической дисциплины при планировании и выполнении работ по ремонту и обслуживанию инфраструктуры. С учетом появления современных локомотивов повышенной мощности, увеличения осевых нагрузок вагонов до 25 тс, а масс поездов до 9000 т при тяге с головы и до

14200 т - при соединенных поездах, необходимы испытания по воздействию на путь не только отдельных единиц подвижного состава, но и всего поезда.

Технологическая нагрузка на инфраструктуру возрастает. С 2015 года грузонапряженность по Восточному полигону увеличилась на 24% и по прогнозам будет продолжать расти. Повышенные экспортные и транзитные грузопотоки в направлении Тихоокеанских портов и сухопутных пограничных переходов обусловили рост и без того высокой интенсивности использования объектов Восточного полигона. Это требует развития пропускной способности инфраструктуры. Важным направлением увеличения пропускной и провозной способности железнодорожных линий является повышение скоростей, внедрение тяжеловесного движения, в том числе пропуск сдвоенных поездов. Однако, на сегодняшний день, в связи с ростом грузонапряженности свыше 150 млн. т брутто в год на отдельных участках железных дорог Российской Федерации, а также в связи с увеличением грузооборота срок работы верхнего строения пути до замены рельсошпальной решетки при существующих конструкциях железнодорожного пути сокращается и становится меньше 10 лет, а время для технологических «окон» на проведение промежуточных ремонтов и работ по текущему содержанию пути постоянно сокращается.

Чтобы обеспечить возрастающие железнодорожные перевозки, создать условия для наиболее эффективного использования всех преимуществ железнодорожного транспорта, поднять скорости движения и вес поездов, необходимы опережающие темпы развития пути, его усиления и совершенствования. Поэтому единственным выходом является повышение ресурса всей конструкции железнодорожного пути. В новых условиях система содержания пути должна быть принципиально изменена. Реализовать это можно только за счет постоянных улучшений процессов технического обслуживания. В наибольшей степени это относится к горно-перевальным участкам на основных направлениях сети.

Ключевым моментом, рассматриваемым в работе, является сравнительная оценка выхода и отказов элементов верхнего строения пути в условиях горно-перевального участка, и на более равнинной местности, с целью рассмотрения вопроса оптимизации системы текущего содержания пути горно-перевальных участков. В условиях роста грузооборота наиболее актуальной становится проблема бокового износа рельсов в кривых участках пути, так как влечет за собой выдачу предупреждений по ограничению скорости движения поездов, предоставление «окон» на производство работ по замене рельсов, рельсовых плетей с последующим вводом их в оптимальный температурный интервал закрепления. Рассматривая горно-перевальный участок Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры за период десять лет, можно отметить ежегодный рост изъятий рельсов со сверхнормативным боковым износом (с 278 шт. в 2016 году до 985 шт. – в 2021 году – рисунок 1).

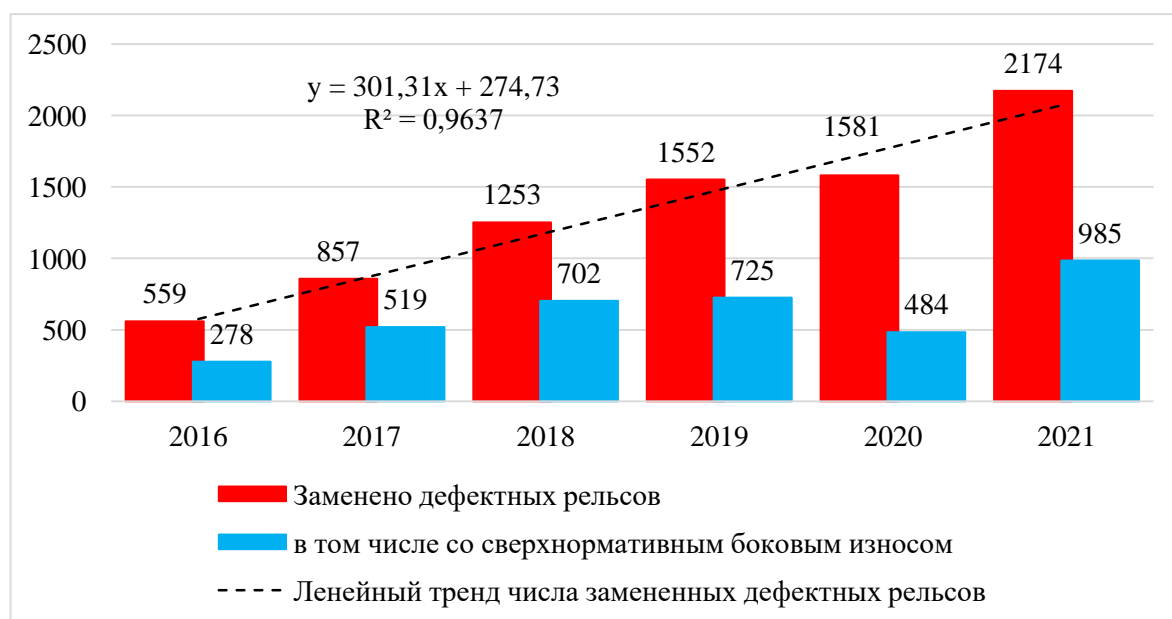


Рисунок 1 – Замененные дефектные рельсы, в том числе со сверхнормативным износом по ПЧ-9 Слюдянка Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры

Изменившиеся в последние годы условия эксплуатации горно-перевальных участков потребовали разработки новых приемов

эксплуатационной работы. Необходимо всестороннее рассмотрение вопроса технического обслуживания горно-перевальных участков.

Актуальность обозначенной проблемы и недостаточность ее изучения 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., Вериго 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., Певзнер В.О., 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., Когана А.Я., Левинзона М.А., Мишина В.В., Новаковича В.И., Певзнера В.О., Стояновича Г.М., Туровского И.Я., Чернышева М.А.

Цель диссертационной работы

Разработка научно-обоснованной системы организации технического обслуживания пути на горно-перевальных участках особогрузонапряженных линий.

Задачи диссертационной работы

– 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).

Объект исследования

Горно-перевальные участки железнодорожного пути особогрузонапряженных линий.

Предмет исследования

Система технического обслуживания железнодорожного пути на горно-перевальных участках особогрузонапряженных линий.

Научную новизну исследований составляют:

1. Установленные количественные зависимости и сравнительный анализ степени влияния эксплуатационных факторов и параметров устройства пути (структура поездопотока, профиль линии, система смазки, динамика изменения состояния пути, 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 работы

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 электровозов) 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 расстройство 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 результатов 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), XVIII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», посвященной памяти профессора Шахунянца Г.М. (27-28 октября 2021), 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 № 1938/р) и Технологии механизированного текущего содержания пути на перевальных участках, утвержденной Центральной дирекцией инфраструктуры 12 ноября 2019 г. № ЦДИ-845.

Публикации

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 11 печатных работах, из них 7 – в рецензируемых научных изданиях и 4 – в других изданиях и материалах конференций.

Объем и структура диссертационной 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.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И МИРОВОГО ОПЫТА СОДЕРЖАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ПЛАНА И ПРОФИЛЯ НА ГОРНО- ПЕРЕВАЛЬНОМ УЧАСТКЕ

1.1 История строительства и особенности эксплуатации горно- перевального участка Большой Луг – Слюдянка Восточно-Сибирской железной дороги

Строительство перевальной железной дороги Иркутск – Большой Луг – Слюдянка началось весной 1941 г. с проходки двух тоннелей вблизи станции Култук. Полностью однопутная «срезка» была введена в эксплуатацию 1 января 1949 г., после чего строители приступили к сооружению второго пути, а в середине 1950-х годов линия была электрофицирована. Электрофицированный участок был принят в эксплуатацию в 1956 г. двухпутном варианте. Основной ход Транссибирской магистрали был переведен на новый участок, заметно сокративший путь по сравнению с Кругобайкальской веткой. На участке между станциями Андриановская и Слюдянка II – самый крутой спуск на Транссибе. Железная дорога спускается с перевала к озеру Байкал более чем на 400 метров.

Эксплуатационная длина горно-перевального участка составляет 82 км. Протяженность пути с уклонами круче 15‰ – 31,9%. Особенностью горно-перевального участка является наличие кривых радиусом до 300 метров в сочетании с уклоном профиля до 21 ‰. В общей сложности протяжение кривых участков пути составляет 72,3% от общего протяжения дистанции пути, в т.ч. радиусом менее 350 м – 49% от всех кривых участков в границах дистанции, и более половины участков подъемы и спуски от 10 до 21‰.

Сегодня мы сталкиваемся с двумя проблемами при техническом обслуживании горно-перевальных участков – высокая грузонапряженность, (2013 год – 134 млн. т брутто, 2021 год – 170 млн. т брутто) затрудняющая предоставление достаточного количества «окон» для работ по техническому

обслуживанию пути и недостаточная долговечность материалов верхнего строения при работе в условиях повышенной силовой нагруженности пути.

Предметно: интенсивный поездопоток исключает текущее содержание в межпоездные интервалы (7 – 10 мин), более 83% (189/227) участков с плохой видимостью из всех по ПЧ-9 (55% кривых от общего протяжения, в т.ч. радиусом менее 350м – 38%). Это приводит к огромной доле непроизводительных потерь эксплуатационного штата в ожидании работ – более 60 % трудозатрат.

При движении подвижного состава на конструкцию верхнего строения пути оказывается воздействие, которое приводит к возникновению упругих и остаточных деформаций земляного полотна.

Как показали результаты цикла экспериментальных исследований по влиянию составов с повышенными осевыми нагрузками на путь, проведенные АО ВНИИЖТ на участке Ковдор-Мурманск [4], релаксация положения пути после осадки происходит с различной скоростью в зависимости от характеристик грунтов, степени их влажности, частоты приложения нагрузки и её длительности, то есть от длины поездов и плотности поездопотока – интервала между поездами – рисунок 1.1.

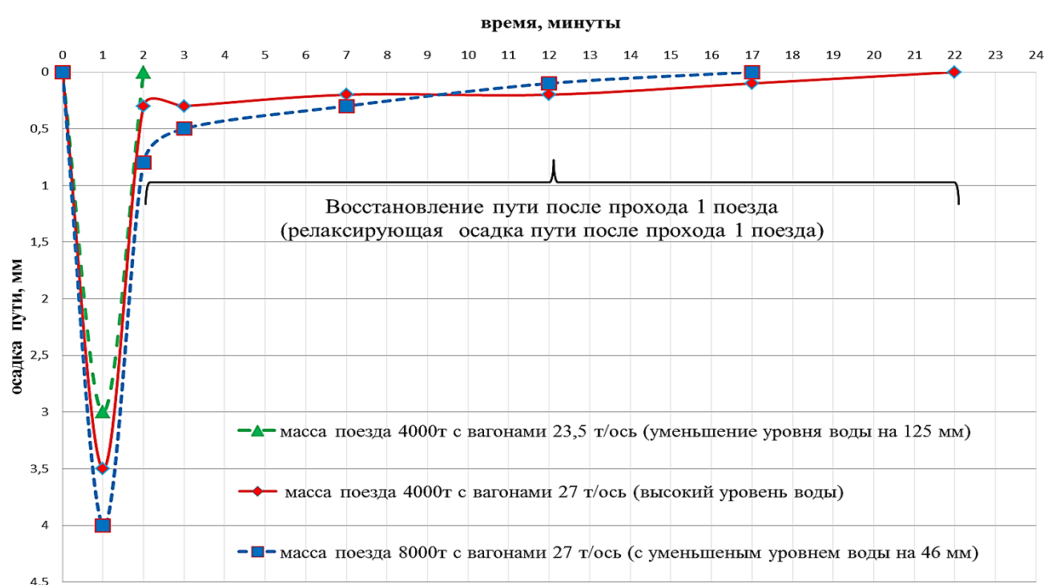


Рисунок 1.1 – Время восстановления пути после прохода одного поезда в зависимости от увлажнения насыпи

Совместными исследованиями ученых и специалистов АО «ВНИИЖТ» и РФЯЦ (г. Саров) [5, 6], с использованием реологических моделей грунтового основания было установлено, что в случае движения группы поездов, когда интервал между поездами меньше времени релаксации пути, происходит накопление отступлений в вертикальной плоскости – рисунок 1.2.

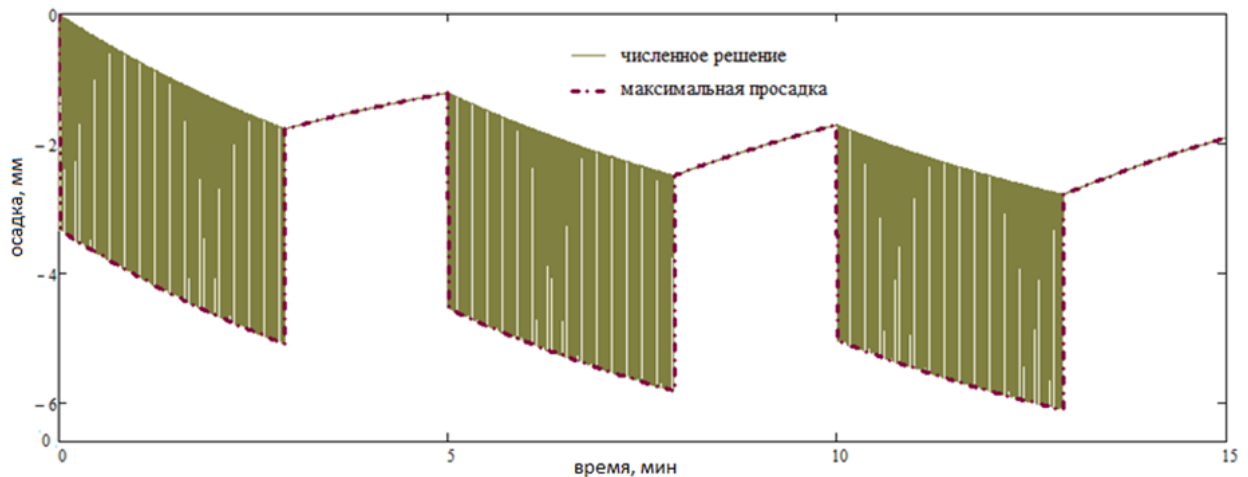


Рисунок 1.2 – График просадки грунта при прохождении трех поездов по 60 вагонов, интервал между поездами 5 минут, время прохождения одного поезда 2,9 минуты.

В результате неравномерных осадок, обусловленных различиями в свойствах грунтов и их влажности, в пути могут образовываться длинные вертикальные неровности. В работе [7] указывается, что разность смежных уклонов элементов продольного профиля на участках с длинными неровностями достигает 14 ‰ при нормативе по всем документам – 4-6 ‰.

В работах [6,7] приведены результаты моделирования движения тяжеловесного состава участку с длинными неровностями. Показано, что в момент прохождения тяжеловесным составом длинных неровностей при движении на подъемах в режиме максимальной тяги, когда в середине состава возникают большие растягивающие силы, возникают значительные вертикальные силы (до 70 тс на маятниковой подвеске и до 25-30 тс на хвостовике автосцепки), действующие на вагон, наезжающий на неровность.

Повышенное силовое воздействие на путь со стороны подвижного состава приводит к накоплению неисправностей, увеличению одиночного выхода рельсов по различным дефектам, увеличению количества негодных шпал в пути и узлов скреплений.

Вопрос особенно актуален для условий горно-перевальных участков. При высокой интенсификации перевозочного процесса, проведение плановых ремонтов и текущего содержания пути в необходимых объемах весьма затруднительно.

В таких условиях, высокий риск возникновения отказов пути требует пристального внимания при планировании необходимого количества ремонтно-путевых работ на участках с высокой грузонапряженностью, в сочетании с тяжеловесным движением, повышенными осевыми нагрузками, а также сложными географическими условиями линии.

1.2 Развитие системы организации и технологии технического обслуживания верхнего строения пути на горно-перевальных участках

Известна истина – железнодорожный путь – основа железнодорожного транспорта. Более 50% основных фондов, около 25% расходов, около 20% штата всей компании – это путевой комплекс.

Специфика работы железнодорожного пути в условиях отечественных железных дорог характеризуется отсутствием дифференциации линий для пассажирского и грузового движения и суровыми климатическими условиями. Существенное влияние на организацию и планирование путевого хозяйства оказывают:

высокая грузонапряженность (таблица 1.1), высокие осевые нагрузки, всевозрастающие скорости поездов;

массовые перевозки угольных, рудных и других грузов, вызывающие интенсивное засорение балласта;

суровые климатические условия;

отсутствие в ряде районов развитой железнодорожной сети (не имеется параллельных маршрутов для движения поездов).

Главнейшими из указанных параметров, обуславливающих в первую очередь динамику взаимодействия пути и интенсивность его деформаций, являются грузонапряженность брутто, скорости движения и нагрузки на ось, в зависимости от которых определяются соответствующая мощность верхнего строения пути (таблица 1.1) и устойчивость земляного полотна. Кроме того, многообразие перечисленных параметров, действующих на путь от подвижного состава, существенно дополняется природно-климатическими воздействиями: суточными и годовыми изменениями температур и влажности, атмосферными осадками в виде дождей и снега, промораживанием балласта и земляного полотна.

Условия эксплуатации железнодорожного пути в начале XX века, которые характеризуются небольшой грузонапряженностью, составляющей 1,1 млн. т брутто в 1913 году, к концу 30-х годов XX века ее значение было менее 3 млн. т брутто, что не требовало общей регламентации системы ведения путевого хозяйства. Большинство путевых работ выполнялось в составе попутного сплошного ремонта бригадами по текущему содержанию, в которые добавлялась временная рабочая сила. Основным и единственным видом работ было текущее содержание пути.

В России впервые были установлены единые для сети железных дорог характеристики рельсов. В 1874 году были приняты три типа железных и четыре типа стальных рельсов. В 1903 году приняты меры для улучшения ведения рельсового хозяйства: приняты четыре типа рельсов: I, II, III, IV, а в 1908 году после корректировки размеров, был введен типаж под индексом «а». Такие рельсы просуществовали на отечественных железных дорогах 40 лет и перенесли шестикратное увеличение грузонапряженности. Этот период можно назвать началом типизации верхнего строения пути.

Потребность типизации рельсов, а следом и верхнего строения пути, была обусловлена постоянно усложняющимися условиями эксплуатации и,

прежде всего, ростом нагрузок на ось. Так в начале XIX и начале XX века нагрузки на рельсы от осей локомотивов составляли 110 – 125кН, а вагонов 90 – 110 кН, то к 1913 году они увеличились до 175 – 180 кН и 120-130 кН соответственно.

Таблица 1.1 - Изменение основных характеристик верхнего строения пути 1913 – 2020 годы на российских железных дорогах

№ п/п		1913	1928	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
1	Масса рельса, кг	33	33,2	35,7	38,4	45,6	53,5	57,5	62,3	63,5	64	64,2
2	Эпюра шпал, шт. на км	1407	1407	1503	1598	1683	1796	1825	1838	1851	1862	1881
3	Удельный вес главных путей на щебеночном и асбестовом балласте, %	-	1,31	4,52	8	46,1	82,2	86,05	95,3	97,2	98	98,5
4	Удельный вес бесстыкового пути, %	-	-	-	-	0,52	10,65	24,68	31,1	36,75	60,1	79,6
5	Участковая скорость грузовых поездов, км/ч	13,6	14,1	20,3	20,1	28,3	33,5	30,6	33	37,3	41,6	41,6
6	Грузонапряженность, млн т брутто	-	1,2	4,3	8,1	18,9	29,6	34,6	38,3	22,5	31,5	39,9
7	Скорость грузовых поездов (техническая), км/ч	22	21,1	33,1	33,8	40,4	46,4	43,6	43,8	46,2	49,3	45,4
8	Средний вес грузового поезда брутто, т	573	817	1301	1430	2099	2574	2819	3070	3295	3815	4084

Наиболее интенсивно эти нагрузки стали возрастать в 30-х годах XX века. В 1931 году были введены в эксплуатацию самые мощные в Европе, на то время, грузовые паровозы серии ФД с осевой нагрузкой до 210 кН и пассажирские паровозы серии ИС с осевой нагрузкой 207 кН и конструкционной скоростью 130 км/ч.

Однако мощность пути определяют не только рельсы. К концу 30-х годов XX века практически на всей сети путь стоял на песчаном балласте, а около 40% деревянных шпал были негодными. Исправить положение в рамках текущего содержания пути не представлялось возможным.

В мае 1936 года (приказы НКПС: № 79/Ц от 28 мая 1936 г. и № 283/ЦЗ от 31 мая 1936 г.) на основе опыта использования временной инструкции и результатов отраслевого совещания путейцев принимается новая классификация путевых работ, включающая в себя реконструкцию, капитальный и средний ремонты пути, текущее содержание.

Грузонапряженность на дорогах СССР интенсивно возрастала (в 1958 году она была в среднем 17,6 млн. т брутто, в 1962 – 20,4, 1968 – 24,6) в то время как за границей она оставалась практически неизменной (например, в США в 1958 году – 5,4 млн т брутто, в 1962 – 5,1, 1967 – 5,2), либо росла медленно (таблица 1.2).

Влияние высокой грузонапряженности дорог СССР на планирование и организацию путевых работ сказывалась в том, что часто требовалось производить ремонты, необходимы различные работы для продления сроков службы элементов пути и более мощные средства механизации производства работ в «окно» и т.д. В связи с этим в организации путевого хозяйства СССР и за границей имелись существенные различия.

Таблица 1.2 - Характеристики работы железных дорог

Страны	годы	Грузонапряженность (средняя), млн т брутто	Перевозка угля, руды и кокса, % от общего объема перевозок	Наибольшая амплитуда колебаний температуры, °С
СССР	1968	24,6	35,4	112
США	1968	5,2	27,8	98
Франция	1967	2,8	24,4	70
Англия	1967	1,6	25,4	60

В 1953 – 1958 годах состав путевых работ был изменен и расширен. Добавлен подъемочный ремонт пути и расширен перечень работ: сплошная смена старогодными, капитальный ремонт переездов, сплошная смена рельсов новыми (Таблица 1.3.)

Таблица 1.3 - Периодичность ремонтов пути 1953 года

Тип рельсов	Межремонтный тоннаж, млн т брутто		
	Подъемочный ремонт	Средний ремонт	Капитальный ремонт
P75	240	470	700
P65	200	375	575
P50	130 и 320	215	400
P43	120 и 190	-	245

Последующая классификация путевых работ была утверждена Госстроем СССР 6 мая 1964 г. Эта классификация в виде «Положения о плано-предупредительном ремонте пути, земляного полотна и искусственных сооружений» [10] включала ряд других работ, производить которые было разрешено за счет амортизационных отчислений на капитальный ремонт. Положением были определены типы верхнего строения пути и нормы периодичности ремонтов (таблица 1.4.)

Таблица 1.4 - Типы верхнего строения пути и нормы периодичности ремонтов пути (1965 года)

Тип верхнего строения пути	Типы рельсов	Характеристика пути по конструкции рельсовых нитей	Род шпал	Род балласта	Периодичность ремонтов (в млн т брутто прошедшего груза во всех видах движения нарастающим итогом)			
					подъемочный	средний	Сплошная смена рельсов новыми	капитальный
I Особо тяжелый	P75	-	-	-	Производится по особым указаниям МПС			
II тяжелый	P65	Звеньевой и бесстыковой путь	Деревянные и железобетонные	Щебень, сортированный гравий, асбестовый балласт	150; 400	280	500	500
III нормальный	P50	То же	То же	То же	110; 280	200	350	350
		Звеньевой путь	Деревянные	Карьерный гравий и ракушка	80; 150; 290	210	-	350
I Особо тяжелый	P75 переложенные	То же	Деревянные и железобетонные	Щебень, сортированный гравий, асбестовый балласт	150	280	-	400
			Деревянные	Карьерный гравий и ракушка	100; 180; 350	260	-	400
III нормальный	P65 переложенные	Звеньевой	Деревянные и железобетонные	Щебень, сортированный гравий, асбестовый балласт	100	200	-	280
		То же	Деревянный	Карьерный гравий и ракушка	80; 150	210	-	290
III нормальный	P50 переложенные	»	Деревянные и железобетонные	Щебень, сортированный гравий, асбестовый балласт, карьерный гравий и ракушка	70	130	-	190

За время действия Положения средняя грузонапряженность выросла с 24 до 43 млн. т брутто, а масса рельса с 49 до 62 кг. Необходимо также отметить, что ряд нормативов, закрепленных данным документом, так и не был реализован. Это прежде всего касается глубины очистки балластной призмы. В 1978 году был взят курс на механизацию работ. Основой этого метода явился комплекс машин, выполняющих наиболее трудоемкие работы по выправке и рихтовке пути, закреплению гаек промежуточных скреплений на бесстыковом пути.

В начальный период организации ремонтных работ затраты труда на 1 км капитального ремонта пути при ручном исполнении составляли 1700-1800 чел. дней, а общая продолжительность закрытия перегона 16-18 час. В связи с этим возникла острая необходимость вынесения максимального количества работ с перегонов на звеносборочные базы. Действующая с 1964 года система ведения путевого хозяйства, базовой основой которой являлось Положение, уже не позволяло на железных дорогах гибко реагировать на изменяющиеся эксплуатационные условия работы сети и экономическую ситуацию. Средства, затрачиваемые на ремонт и содержание пути, не давали должной отдачи из-за отсутствия на дорогах современных путевых машин, обеспечивающих длительное стабильное положение пути, и, прежде всего, машин для глубокой очистки щебня, реконструкции балластной призмы с усилением несущей способности основной площадки земляного полотна, профильной шлифовки рельсов, а также глубокой диагностики пути.

В целях улучшения экономического положения на железных дорогах, приказом Министра путей сообщения Российской Федерации от 16 августа 1994 г. № 12-Ц «О переходе на новую систему ведения путевого хозяйства на основе повышения технического уровня и внедрения ресурсосберегающих технологий» [11], с 1 января 1995 г. было введено Положение о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах Российской Федерации

(приложение 1 в [11]), что обеспечило полный переход в масштабе отрасли на новую систему эксплуатации пути в течении 10 лет.

В соответствии с Положением (1995 года) выполнена классификация путей по грузонапряженности – на 5 групп, допускаемым скоростям – на 7 категорий. В зависимости от класса пути введены виды ремонта пути:

О – обновление верхнего строения пути;

РС – сплошная смена рельсов (металлических элементов стрелочных переводов): в период между обновлениями пути – на новые; в период между капитальными ремонтами – на старогодные, сопровождаемая средним ремонтом пути (на участках с асбестовым балластом вместо среднего может выполняться подъемочный ремонт или планово-предупредительная выправка);

К – капитальный ремонт пути;

С – средний ремонт пути;

П – подъемочный ремонт пути;

В – планово-предупредительная выправка пути с применением комплекса машин;

средний ремонт в соответствии с проектной документацией может заменяться реконструкцией балластной призмы.

Таблица 1.5 - Нормы периодичности обновления и капитального ремонта пути (1995 года)

Классы пути	Группы и категории пути	Периодичность обновления и капремонта пути, млн т брутто		Схемы путевых работ в период между обновлениями (капитальными ремонтами) пути	
		Бесстыковой путь с жб шпалами	Звеньевой путь с деревянными шпалами	Бесстыковой путь	Звеньевой путь
1 и 2	A1, A2, A3	1400	1200	ОВПВ(РС)ВПВО ОВРВ(РС)ВРВО	ОВПВ(РС)ВПВО ОВРВ(РС)ВРВО
	A4	1500	1300	то же	то же
	A5	1600	1400	то же	то же
	B1, B2, B3	1400	600	ОВСВ(РС)ВСВО ОВРВ(РС)ВРВО	ОВСВО ОВ(РС)ВО

Продолжение Таблицы 1.5

Классы пути	Группы и категории пути	Периодичность обновления и капремонта пути, млн т брутто		Схемы путевых работ в период между обновлениями (капитальными ремонтами) пути	
		Бесстыковой путь с жб шпалами	Звеньевой путь с деревянными шпалами	Бесстыковой путь	Звеньевой путь
	Б4	1500	650	ОВСВ(РС)ВСВО ОВРВ(РС)ВРВО	ОВСВО ОВ(РС)ВО
	Б5	1600	700	то же	то же
	В1; В2; В3; В4	1400	600	ОВСВ(РС)ВСВО ОВРВ(РС)ВРВО	ОВВСВВО ОВВ(РС)ВВО
	Г1; Г2; Д1, Г3, Г4, Д2	1 раз в 25 лет	1 раз в 15 лет	ОВВСВВО ОВВ(РС)ВВО	ОВСВО то же
3	А6	1200	1000	КВПВ(РС)ВПВК ОВРВ(РС)ВРВО	КВПВ(РС)ВПВК ОВРВ(РС)ВРВО
	Б5; Б6	1200	500	КВПВ(РС)ВПВК ОВРВ(РС)ВРВО	КВСПК ОВ(РС)ВО
	В4; В5	700	500	КВВСВПК ОВВ(РС)ВВО	КВСПК ОВ(РС)ВО
	Г3; Г4; Д2; Д3; Д4	1 раз в 25 лет	1 раз в 15 лет	КВВСВПК ОВВ(РС)ВВО	КВСПК ОВСПО
4	В6	1200	500	КВВ(РС)ВПК ОВРВ(РС)ВРВО	КВСПК ОВ(РС)ВО
	Г5; Г6; Д5; Д6	1 раз в 25 лет	1 раз в 15 лет	КВВСВПК КВВ(РС)ВПК	КВСПК КВСПК
5	А7; Б7; В7; Г7; Д7	1 раз в 30 лет		КПСПК КПРПК	КПСПК КПРПК

По итогам выполнения Программы оснащения железных дорог путевыми машинами и средствами контроля состояния пути в период 1994 – 2003 годах (Приложение № 3 к приказу МПС России от 16 августа 1994 г. № 12Ц), а также учитывая внедрение новых технологий обслуживания пути, назрела необходимость установления новых критериев назначения ремонтов пути в зависимости от грузонапряженности. Так были утверждены МПС РФ от 30 сентября 2003 г. № ЦПТ-53 Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути (далее – ЦПТ-53) [12], в которых предусматривались межремонтные сроки проведения усиленного капитального и капитального ремонта пути:

на путях 1 и 2 класса – на бесстыковом пути через

700 млн. т. пропущенного тоннажа или 1 раз в 30 лет; на звеньевом пути на деревянных шпалах через 600 млн. т или через 18 лет.

на путях 3 и 4 класса – на бесстыковом пути через 700 млн. т. пропущенного тоннажа или 1 раз в 35 лет; на звеньевом пути на деревянных шпалах через 600 млн. т или через 18 лет (на 4 классе – через 20 лет).

на путях 5 класса – на бесстыковом пути 1 раз в 40 лет; на звеньевом пути на деревянных шпалах через 25 лет.

Основными критериями назначения капитальных ремонтов – были пропущенный тоннаж (срок службы в годах), одиночный выход рельсов на участке ремонта.

Разработанное ранее Положение о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах Российской Федерации, утвержденное Министром путей сообщения РФ Аксененко Н.Е. от 27 апреля 2001 г. (отмененное приказом Министерства транспорта РФ от 18 сентября 2018 г. № 335) предусматривало аналогичную межремонтную схему.

ЦПТ-53 включали в себя регламентированные, а также рекомендуемые технические и организационно-технологические параметры и требования, предъявляемые к разным видам путевых работ, но при этом не предусматривали реконструкцию (модернизацию) железнодорожного пути и обновление в связи с этим основных фондов, вновь образованной в 2003 году компании ОАО «РЖД».

В новом Положении о системе ведения путевого хозяйства ОАО «РЖД», утвержденном распоряжением ОАО «РЖД» от 2 мая 2012 г. № 857р на путях 1 класса групп «А» и «Б» введен межремонтный срок 1400 млн. т. брутто при условии проведения сплошной замены рельсов в период между капитальными ремонтами пути, сопровождаемой работами в объемах среднего (или усиленного среднего) ремонта пути.

В 2013 году в ОАО «РЖД» были разработаны Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного

пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 18 января 2013 г. № 75р (далее – ТУ 75р) [13], которые предусматривали выполнение реконструкции (модернизации) железнодорожного пути. За период действия ТУ 75р были применены:

классификация и специализация железнодорожных линий, в соответствии с Методикой определения классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД», утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 23 декабря 2015 г. № 3048р,

изменены среднесетевые нормы периодичности и схем видов ремонта – увеличен нормативный ресурс на бесстыковом пути с 700 до 750 млн. тонн брутто;

на линиях с грузонапряженностью более 50 млн. т брутто/км в год определен ресурс норм периодичности ремонта до 1400 млн. т брутто;

уточнены и оптимизированы схемы ремонта в зависимости от грузонапряженности;

пересмотрены нормативно-технические требования к конструкциям, типам и элементам железнодорожного пути, что позволило расширить использование старогодных материалов, повысить качество к применяемым материалам, увеличить ресурс по элементам скреплений.

В 2015 году взамен Положения о системе ведения путевого хозяйства, утвержденного распоряжением ОАО «РЖД» от 2 мая 2012 г. № 857р введено новое Положение, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 31 декабря 2015 г. № 3212р. Введены нормативные сроки службы на путях 1 и 2 класса специализаций «В», «С», «П», «Г» и «О» 750 млн. т брутто и 1500 млн. т брутто (при условии проведения сплошной замены рельсов в период между капитальными ремонтами пути, сопровождаемой работами в объемах среднего ремонта пути).

В 2018 году Приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 9 февраля 2018 г. № 54 внесены изменения в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации,

утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286, и приказом от 29 мая 2018 г. № 214 отменены Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути, утвержденные МПС РФ от 30 сентября 2003 г. № ЦПТ-53.

С целью исключения противоречий нормативных документов ОАО «РЖД» в части отнесения видов работ по восстановлению пути к капитализируемым, классификации работ по восстановлению объектов капитального строительства, а также реализации современных требований к планированию и организации выполнения путевых ремонтных работ в условиях обновления нормативной базы ОАО «РЖД» распоряжением ОАО «РЖД» от 22 июля 2019 г. № 1552/р «О внесении изменений в распоряжение ОАО «РЖД» от 30 января 2009 г. № 182р и признании утратившим силу некоторых документов ОАО «РЖД» по вопросам проведения ремонта железнодорожного пути» утратили силу:

приложение № 3 к распоряжению ОАО «РЖД» от 30 января 2009 г. № 182р «О внесении изменений в действующие и утверждении новых нормативных документов, определяющих показатели функционирования, виды и характеристики ремонтов и межремонтные сроки объектов основных средств»;

распоряжение ОАО «РЖД» от 14 октября 2010 г. № 2133р «О внесении изменений в распоряжение ОАО «РЖД» от 30 января 2009 г. № 182р «О внесении изменений в действующие и утверждении новых нормативных документов, определяющих показатели функционирования, виды и характеристики ремонтов и межремонтные сроки объектов основных средств»;

распоряжение ОАО «РЖД» от 31 декабря 2015 г. № 3212р «Об утверждении и введении в действие Положения о системе ведения путевого хозяйства ОАО «РЖД».

Распоряжением генерального директора ОАО «РЖД» Белозерова О.В. от 20 августа 2019 г. № 1820/р утратило силу распоряжение ОАО «РЖД» от

1 июля 2009 г. № 1374р «Об объединении двух видов реконструкции железнодорожного пути и признании утратившим силу распоряжения ОАО «РЖД» от 8 июня 2007 г. № 1080р».

Распоряжением ОАО «РЖД» от 31 декабря 2019 г. № 3146/р периодичность и схемы выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки железнодорожного пути в Технических условиях на работы по ремонтам железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 18 января 2013 г. приведены в соответствие с Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286 (в редакции приказа Министерства транспорта РФ от 9 февраля 2018 г. № 54).

Необходимо отметить, что основные критерия назначения капитальных ремонтов с 2003 года не менялись. За период действия ТУ 75р (с 2013 по 2022 год) они подвергались изменениям более десяти раз, что в процентном соотношении к объему документа составляет более 50%.

Приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 23 июня 2022 г. № 250 введены в действия новые Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (далее – новые ПТЭ). Новые ПТЭ дают возможность принимать решения и устанавливать нормы и правила владельцу инфраструктуры (владельцу железнодорожных путей необщего пользования). Новый нормативный правовой акт [9] не включает в себя требования к конструкции пути и ее элементам, а также иных требований, дублирующих нормы установленные документами технического регулирования, что позволит исключить двойное чтение документов и способствует инновационному развитию инфраструктурного комплекса в целом. Новые ПТЭ являются документом прямого действия и не допускают ссылок на нормы и правила (в отличие [8]), и регулируют именно вопросы технической эксплуатации железнодорожного транспорта Российской Федерации, а не устанавливают нормы к конструкции пути, его

техническому обслуживанию и ремонту, что позволит использовать инновационные материалы верхнего строения пути, внедрять новые технологии обслуживания и ремонта.

Внедрение инновационных материалов верхнего строения пути, новых технологий обслуживания и ремонта:

позволит повысить качество деятельности по организации движения поездов, функционирования сооружений и устройств инфраструктуры ж.д. транспорта за счет реализации современных принципов построения и содержательного наполнения документа для более удобного поиска нужных предписаний, лучшего их усвоения и использования в практической деятельности;

обеспечит снижение эксплуатационных расходов за счет экономии материалов, экономии затрат на оплату труда и автоматизации технологических процессов и учета материалов верхнего строения пути на всем жизненном цикле.

Управленческий эффект обеспечивается за счет консолидированного взаимодействия всех филиалов, дочерних обществ ОАО «РЖД», участвующих в перевозочном процессе или обеспечивающих эти перевозки, на основе единых подходов к управлению процессами, связанными с безопасностью движения.

Возможность планирования, определения ремонтов железнодорожного пути владельцем инфраструктуры позволит:

проведение ремонтов по фактическому состоянию пути (определение периодичности);

определение критериев назначения ремонтов пути;

внедрение новых конструкций железнодорожного пути (разработка новых конструкций элементов верхнего строения пути, конкретизации сфер их применения при разных климатических и эксплуатационных условиях (в том числе для горно-перевальных участков).

Основополагающим выводом из проведенного анализа нормативной документации является отсутствие термина «горно-перевальный участок», особенности его содержания и организации его технического обслуживания.

Результаты диссертационной (исследовательской) работы вошли в разработку нового нормативного документа Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденного распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (далее – Правила), которые с 29 апреля 2022 г. отменили действие ТУ 75р. Основопологающими изменениями новых Правил являются:

– пунктом 4.1 Правил № 2888р (аналогичный пункт 1 Правил № 54) предусмотрено внедрение нового вида капитального ремонта 3 уровня – РП (сплошная замена рельсов в период между капитальными ремонтами на участках бесстыкового железнодорожного пути с грузонапряженностью более 25 млн. ткм брутто/км в год, сопровождаемая работами в объемах подъемочного ремонта железнодорожного пути), позволяющий проводить сплошную замену рельсов и отдельную замену других элементов верхнего строения пути без очистки балласта. Это позволит оптимизировать затраты на капитальный ремонт с использованием новых материалов (КРН) и проводить дополнительно другие виды ремонтов.

– в пункте 4.16 таблицей 4.1 «Перечень основных работ, выполняемых при капитальном ремонте железнодорожного пути 1, 2 и 3 уровней и капитальном ремонте стрелочных переводов» (в Правилах № 54 пункт 12 таблица 3) предусмотрено выполнение основных видов работ при КРН, КРС, РС, РП, Ксп периодами (основной период работ и заключительный период работ), а также этапами (разворот работ, укладка и сдача), что позволит выполнять их более качественно, вне зависимости от погодных условий, своевременно представлять акты о выполнении работ и, тем самым, своевременно отражать их в бухгалтерском учете. Также внесена возможность проведения работ на участках оборудованных опорными геодезическими сетями, что позволит использовать в таких местах

геоинформационные технологии ремонта пути (аналогично таблица 4.2 для ремонтов Р, С, П, В). Добавлены дополнительные виды работ, используемые при капитальных ремонтах пути:

проверка 10% количества знаков ОГС (реперов) или создание рабочей разбивочной сети;

окончательная выправка пути в плане и профиле (в соответствии с проектной документацией) / в т.ч. с устранением длинных неровностей;

выполнение работ по укреплению плеча балластной призмы двухкомпонентными вяжущими материалами;

ремонт (установка) ограждения вдоль железнодорожного пути.

– в пункте 5.2 таблицей 5.1 «Периодичность и схемы выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки железнодорожного пути для планирования работ» (аналогичная таблица 4 в пункте 12 Правил № 54) предусмотрено увеличение нормативной периодичности выполнения капитального ремонта 1 уровня при использовании рельсов категории ДТ (дифференцированно-термоупрочненных), на участках О, I, где не предусмотрено выполнение ремонтов РС (РП) увеличена нормативная периодичность проведения ремонтов до 900 млн. т брутто. На участках специализаций В и С, при этом, увеличена нормативная периодичность ремонта до 30 лет. Все это позволит оптимизировать затраты на проведение ремонтов.

– пунктом 5.3 Правил № 2888р на участках главного железнодорожного пути 3 класса с грузонапряженностью от 5 до 50 млн. т брутто с установленными скоростями до 80 км/ч для пассажирских и 60 км/ч для грузовых поездов, а также 4 класса установлена возможность увеличения межремонтного срока, которая определяется ежегодно с учетом технического состояния пути, оцениваемого по наличию на участке основных и дополнительных критериев назначения ремонтов, указанных в таблице 6.1 Правил, и получивших среднегодовую оценку средствами диагностики в течение года – «отлично» и «хорошо». Расчет просроченности

капитальным ремонтом пути в представленном варианте учитывает переход на оценку просроченности пути на участках 3 и 4 класса по состоянию пути. Это позволит уменьшить количество просроченных капитальным ремонтом километров.

– пунктом 5.10 и 5.9 (таблица 5.2 аналогичный пункт 15 таблица 5 Правил № 54) актуализировано нормативное количество дополнительной сплошной смены рельсов в кривых участках железнодорожного пути. При условии использования рельсов ДТ периодичность уменьшается на 1. Определение потребности смены рельсов осуществляется по фактическому состоянию пути.

– в таблице 6.1 «Критерии выбора участков ремонтов железнодорожного пути, подлежащих капитальным ремонтам 1 – 3 уровня (КРН, КРС, РС, РП)» (аналогичная таблица 6 пункт 16 в Правилах № 54) актуализированы основные и дополнительные критерии выбора участков ремонтов железнодорожного пути, подлежащих капитальным ремонтом 1 – 3 уровня. Разработан коэффициент влияния, который определяет в процентном отношении остаточный ресурс на участке, а также возможность проведения ремонта по сумме всех критериев. Определены критерии УРРАН для капитального ремонта железнодорожного пути 1 – 3 уровня (КРН, КРС, РС, РП). Это позволит оптимизировать затраты на проведение ремонтов.

– в пункте 7.1 таблицей 7.1 «Требования к конструкции верхнего строения пути, при проведении капитального ремонта 1 уровня (КРН) на линиях с обращением грузового подвижного состава с осевой нагрузкой до 25 тс» (аналогичная таблица 8 пункта 17 Правил № 54) с целью повышения сроков эксплуатации элементов верхнего строения пути, снижения затрат на обслуживание, повышения пропускной способности и уровня безопасности движения поездов разработаны новые конструкции и предусмотрено использование новых материалов верхнего строения пути. Требования к конструкции верхнего строения пути при проведении капитальных ремонтов приведены в зависимости от категории линии (класса пути), годовых

амплитуд температуры рельсов, плана линии. Внесены новые категории рельсов, возможность использования шпал с подшпальными прокладками. Это позволит увеличить межремонтные сроки выполнения работ.

– в пункте 7.1 таблицей 7.2 «Требования к конструкции верхнего строения пути при проведении капитального ремонта 2 уровня (КРС) на линиях с обращением грузового подвижного состава с осевой нагрузкой до 25 тс» при проведении КРС внесена возможность использования старогондой железобетонной решетки на звеньевом пути, что снизит затраты на его ремонт и содержание.

– пунктом 7.4 Правил № 2888р (аналогичный пункт 19 Правил № 54) на железнодорожных путях специализации С, О допускается применение щебня II категории (по ГОСТ 7392-2014) по согласованию с Центральной дирекцией инфраструктуры и внесением в проектную документацию. На путях, относящихся к 1 и 2 классам должно предусматриваться создание в необходимых местах подбалластного несущего слоя из песчано-гравийной смеси расчетной толщины, в т.ч. с геоматериалами.. Для участков пути с особогрузонапряженным движением и пропуском от 1,5 млрд. т. брутто пропущенного груза после механизированной очистки должно быть обеспечено соответствие щебня I или II категории требованиям ГОСТ 7392-2014 Щебень из горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия. Данные условия позволят снизить стоимость выполнения работ.

В конце 20 – начале 21 века вопрос о необходимости разработки специальной системы технического обслуживания пути на горно-перевальных участках не был актуальным по причине относительно невысоких объемов перевозочной работы. В настоящее время при грузонапряженности до 180 млн т брутто и перспективах ее дальнейшего повышения до 220-230 млн т брутто, указанный вопрос приобрел повышенную значимость, что определяет актуальность данной работы.

1.3 Анализ мирового опыта тяжеловесного движения в сложных условиях плана и профиля

В Европе требования, предъявляемые к элементам верхнего строения пути для городских и магистральных железных дорог, а также для высокоскоростных перевозок и грузовых, выполняемых тяжеловесными поездами, определены в стандарте DIN EN 13481 [14], который также дает описание методики соответствующих испытаний.

Несмотря на то, что в настоящее время осевые нагрузки до 42 т — это уже обыденная практика, как, например, на линиях горнодобывающих предприятий Австралии, в мире пока не определены требования к испытаниям инфраструктурных объектов, используемых в перевозках тяжеловесными поездами с указанной осевой нагрузкой [15]. Существующие стандарты Австралии и Европы рассматривают такие перевозки с осевой нагрузкой не выше 35 т.

Описание требований к тяжеловесному движению в США содержится в документе AREA (Американской инженерной ассоциации по текущему содержанию и ремонту железнодорожного пути) [15, 16]. Американский стандарт рассматривает системы для тяжеловесного движения иначе, чем европейский. Для систем рельсовых скреплений он определяет конкретные требования:

- высокое прижимное усилие;
- большое сопротивление утону;
- оптимальное поглощение высоких поперечных и вертикальных сил;
- предотвращение износа рельсовой подкладки.

Соответственно американские стандарты AREA предусматривают следующие виды испытаний для рельсовых скреплений:

- определение сопротивления продольному сдвигу;
- проверку усилия при отжатии;
- испытания на длительное нагружение;

- проверку реакции на действие поперечной силы;
- определение воздействия на упругую прокладку под подошвой рельса;
- измерение сил, воздействующих на рельсовое крепление при экстремальных нагрузках.

В документе AREA для нагрузок на ось до 35 т предусмотрено испытание на износ шпал и рельсовых креплений. Комплекс сложных испытаний предусматривает движение в кривых малого радиуса, в том числе в тяжелых условиях эксплуатации, а также исследование поведения креплений при больших колебаниях температуры, повышенной влажности и загрязнении рельсов песком.

В работе [15] авторы указывают на ряд особенностей, присущих грузовому движению Северной Америки. Первая связана с тем, что оно осуществляется частными, вертикально-интегрированными компаниями. Вторая особенность состоит в единых стандартах по отношению к эксплуатационным показателям, подвижному составу и другим элементам, которые разрабатываются и принимаются Ассоциацией американских железных дорог (AAR). Этим обеспечивается возможность «сквозного» грузового движения от Аляски через Канаду, США в Мексику. AAR в своих нормативных документах смогла обеспечить компромисс между требованиями перевозчиков, возможностями систем обслуживания и экономическими соображениями.

Основными компаниями, работающими в условиях тяжеловесного движения, являются Union Pacific (UP), CXST, Norfolk Southern Railway. Все они в разное время перешли на работу от осевой нагрузки 25 т/ось к 32,4 т/ось, стали применять вагоны большей грузоподъемности, увеличивать длину и массу поездов, которая в настоящее время составляет до 120 – 150 вагонов массой 14 000 – 16 000 т. Сначала использовались стальные открытые вагоны-хопперы и полувагоны грузоподъемностью 90,7 т. С появлением вагонов из алюминиевых сплавов с массой тары 20 т их стало возможным загружать до массы брутто 129,7 т.

Одними из первых США начали систематическую работу по изучению подобных условий работы железнодорожной системы и разработке реальных технических и экономических решений. На основе технико-экономических исследований, выполненных в 1990-х годах, работы железных дорог США при осевой нагрузке 25, 32,5 и 37 тс было принято решение о выборе осевой нагрузки 32,5 тс. В числе проектов, выполненных ТТСИ, были: улучшение тележек, оценка возможностей мостов, оценка материалов рельсов и колес различных производителей, разработка систем мониторинга состояния пути и подвижного состава и управления их состоянием, оптимизация профилей колес и рельсов, лубрикация системы колесо-рельс, применение модификаторов трения на поверхности катания и многие другие. Интенсивная работа в направлении совершенствования технологий тяжеловесного движения, разработки критериев оценки, систем мониторинга и др. продолжается и в настоящее время.

Грузовые перевозки в Северной Америке осуществляют 7 железных дорог 1 класса, протяженность линий которых составляет более 243 тыс. км. На долю тяжеловесных перевозок приходится большая часть железнодорожной деятельности. Используются тепловозы с электрической передачей. Скорость движения составляет около 100 км/ч. Вес вагона (полувагоны) составляет 129 т и 142 т. Осевая нагрузка – 32,5 т.

Скорость движения грузовых составов с вагонами облегченной массы составляет 120-130 км/ч. ААЖД проводит исследования технических характеристик вагонов массой 142 т на испытательном полигоне в Пуэбло (шт. Колорадо) с 2010 г. Конструкция опытного пути соответствует стандартам AREA [16].

В исследовании Transportation Technology Center, Inc (ТТСИ) [17], показана эффективность метода по ремонту, связанного с проблемой нестабильности нижнего строения пути (балласт, основная площадка и насыпь) в условиях коммерческого движения при больших осевых нагрузках (HAL).

Рассматриваемый участок коммерческого движения в восточной части США подвержен постоянной проблеме устойчивости откоса и связанного с этим нестабильностью пути. Участок пути, длиной примерно 700 ft (213 м) подвержен постоянной и сильной деформации, приводящей к необходимости в еженедельном обслуживании. TTCI вместе с компаниями NS, HyGround Engineering и Tensar International Corporation объединились для попытки геотехнического ремонта данного участка пути. Данное исследование было начато для определения эффективности двух разных технологий по получению более стабильной геометрии пути и уменьшению частоты обслуживания пути до приемлемого уровня.

Основным методом доставки угля из шахт восточного Огайо потребителям были железные дороги и некоторым линиям более 100 лет. При проведении земляных работ выемки из гористых мест перевозились мулами для применения в долинах и впадинах с минимальным уплотнением. Применяемые материалы для насыпи обычно состояли из того, что находилось рядом с долинами, что привело к разнообразию в основании полотна и характеристикам дренажа.

Путевые работники компании NS следили за постоянной проблемой, связанной с обеспечением геометрии пути участка длиной примерно в 213 м, построенному в начале XX века из насыпных материалов высотой примерно от 6 до 7,5 м. Наличие мелкозернистых почв в составе материалов насыпи и влажное состояние земляного полотна, вызванное в основном сезонными осадками и повышенным уровнем грунтовых вод, привели к необходимости в еженедельном обслуживании пути.

Постоянная укладка балласта на линии Norfolk Southern (NS) около г. Каптина, шт. Огайо для поддержания высоты пути и геометрии привели к образованию в двух местах балластных мешков до 2 м толщиной на расстоянии примерно 140 м с незначительным уплотнением балластного профиля в других местах. Добавленный вес и перемещение балласта вниз с повышенной гидропроницаемостью его по отношению к окружающей почве,

состоящей из непластичной глины, создали эффект ванны на собираемой у насыпи воды. Почва из насыщенной глины обладает низкими показателями прочности на сдвиг, приводящими к наружной деформации насыпи под динамическими нагрузками поездов.

Проводившие исследования инженеры применяли георадар для определения характеристики секции пути для выявления балластных мешков и зон повышенной влажности. Принадлежащая ТТСІ лаборатория нагрузки на путь (TLV) также использовалась для определения плотности основной площадки земляного полотна и для статического зондирования (СРТ).

ТТСІ обработал результаты исследований TLV и СРТ для выявления основной причины и правильного подхода в исправлении проблем.

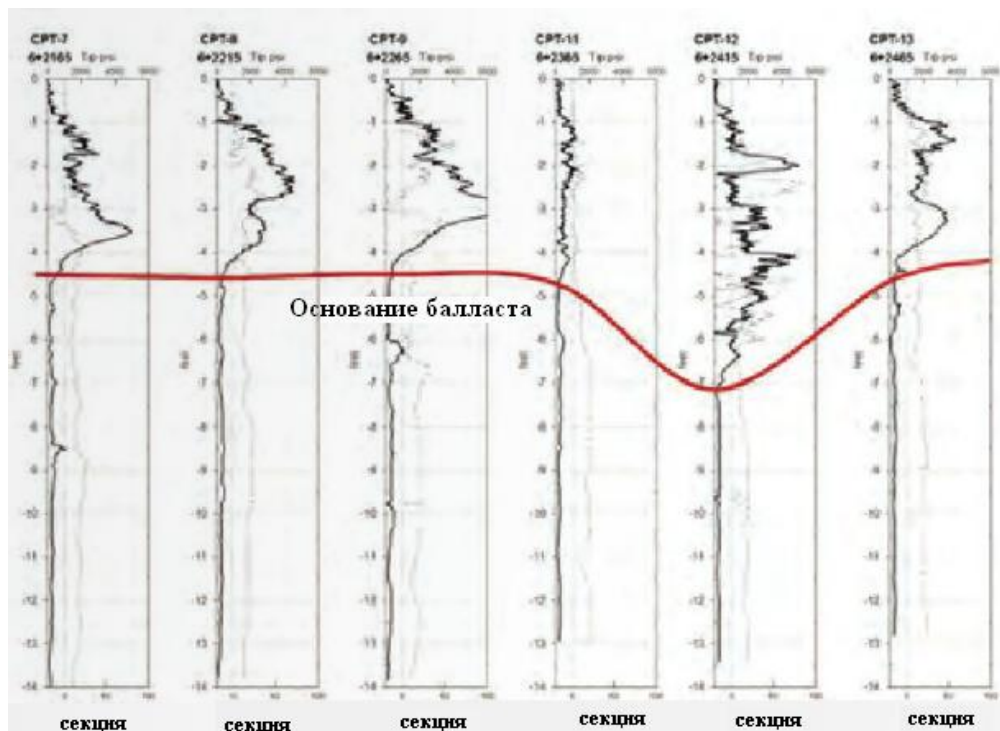


Рисунок 1.3 – Результаты статического зондирования (СРТ) лаборатории TLV, показывающие плотность балласта

Основываясь на результатах статического зондирования (СРТ) лабораторией TLV, показывающие плотность балласта, полевых тестов участка полотна, ТТСІ и HyGround рекомендовали два метода для одновременного применения по решению проблем: расположение в балласте

георешетки (сетки для армирования грунта) и установка в районе балластных мешков поперечного дренажа.

Георешетка, установленная в балласт, дает два потенциальных преимущества. Она уменьшает давление, передающееся на подстилающий слой, и ограничивает передвижение составляющих балласта. Сцепляющий эффект георешетки на балласт дает эффект настила уровню поддержки на глубине, рассеивая динамические силы, действующие на основание, улучшая показатели сдвига и уменьшая осадку основания.

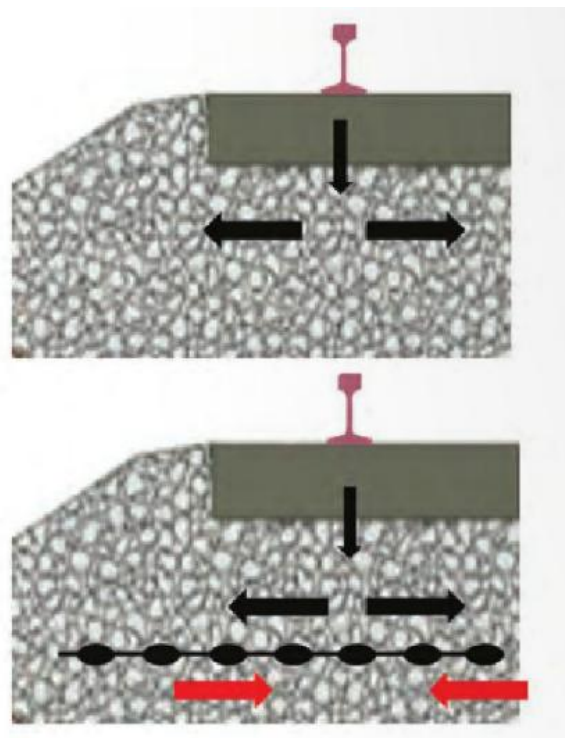


Рисунок 1.4 – Разница в силах между неподдерживаемом балласте и балласте с георешеткой

Первоначальные планы были установить георешетку на глубину 30 см от шпал путем подрезки, однако, установка была совершена путем снятия рельсошпальной решетки и 30 см балласта. Была установлена георешетка компании Tensar TriAx TX190L, балласт был заменен и подбит [17].



Рисунок 1.5 – Установка георешетки на основную площадку
(подбалласт)

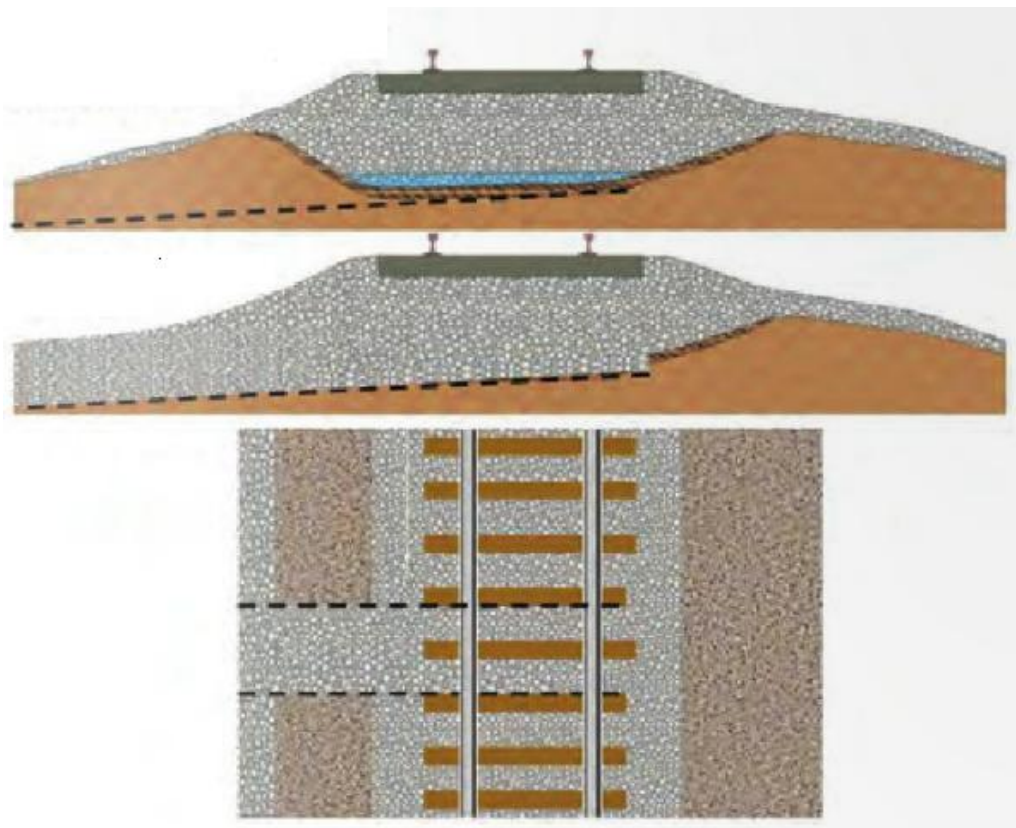


Рисунок 1.6 – На левой бровке была выкопана траншея шириной 76 см
и 15 см ниже уровня балластного мешка с наклоном к основанию откоса.

После траншея была засыпана балластом

Для долгосрочного мониторинга осадки, во время работ на георешетку были установлены индикаторы. Они обеспечивают данными по осадке уровня под георешеткой. Также была проведена инспекция уровня полотна рельса для долгосрочного мониторинга осадки пути.

В двух местах были выкопаны балластные траншеи для размещения поперечного дренажа. Ширина траншей была определена в 76 см и 15 см ниже балластных мешков (находившихся примерно в 2-х метрах ниже верхнего уровня шпал). После того, как траншеи были выкопаны и были достигнуты влажные участки балластных мешков, они были заполнены чистым балластом. Дренаж балласта начал работать незамедлительно, позволяя воде покидать балластные мешки, в то время как продолжались работы по улучшению участка пути.



Рисунок 1.7 – Дренаж балласта продолжает функционировать спустя месяц после установки

Примерно после 6 месяцев после проведенных работ ТТСІ обсудило результаты работы участка пути с представителями компании NS. Цикл обслуживания пути был сокращен с еженедельного до всего лишь одного раза в 6 месяцев.

Продолжается мониторинг геометрии пути, но очевидно, что проблемы, связанные с плохо уплотненными мелкозернистыми почвами и балластными мешками могут быть решены локально [17].

Таблица 1.6 - Применение рельсовых креплений компании Pandrol на железных США дорогах с повышенной осевой нагрузкой

Компания	Категория линии	Типы креплений	Осевая нагрузка, т	Минимальный радиус кривой, м	Протяженность, км
Union Pacific	Для тяжеловесного движения	e2000/ SAFELOK/ SAFELOK I I	36	175	>2800
CSX	Смешанного движения	FASTCLIP	36	220	>1300
Florida East Coast	Смешанного движения	FASTCLIP	30	н/д	>15
CSX	Смешанного движения	e2000	36	220	>1500
Norfolk Southern	Смешанного движения	e2000	30	290	>1500
Florida East Coast	Смешанного движения	e2000	30	н/д	>35
Burlington Northern	Смешанного движения	e2000/ SAFELOK/	35	175	>2800

На основе результатов испытаний на износ шпал и рельсовых креплений, проведенных компанией Vossloh Fastening Systems [18], удалось усовершенствовать системы креплений для линий с движением тяжеловесных поездов за счет повышения усталостной прочности и износостойкости.

Рентабельность и безопасность — это решающие аргументы при создании проектов инфраструктуры. Для обеспечения эффективной эксплуатации и малозатратного технического обслуживания участков, где обращаются тяжеловесные поезда с осевой нагрузкой до 35 т, в том числе в кривых с экстремальными механическими нагрузками, требования к системам рельсовых креплений достаточно высоки. Ярким примером тому служат грузовые перевозки в Северной Америке. Для этого особого рынка

компания Vossloh разработала большое число систем рельсовых креплений. В настоящее время крепления типа W компании Vossloh установлены в США на участках общей длиной около 760 км.

В России требуется строить линии для перевозок с осевой нагрузкой минимум 30 т. Они должны быть рассчитаны на эксплуатацию в сложных климатических условиях при больших колебаниях температур и высокой влажности воздуха. Компания Vossloh в тесном сотрудничестве с российскими специалистами разработала систему рельсовых креплений W 30, которая приспособлена к сложным условиям эксплуатации в России. Результаты этого сотрудничества уже вошли в новый российский стандарт на рельсовые крепления для участков тяжеловесного движения. Аналогичные требования предъявляет Монголия, которая строит линию протяженностью около 270 км от крупного угледобывающего предприятия Таван-Толгой, расположенного в пустыне Гоби, до границы с Китаем. Компания Vossloh разработала систему креплений MNG 30 для этого участка, по которому будут транспортировать уголь в экстремальных условиях степей и пустыни [18].

Таблица 1.7 - Рекомендации Международной ассоциации тяжеловесного движения по параметрам балластной призмы для тяжеловесного движения

Грузонапряженность	Балласт	Инспекция геометрии
Для выделенной тяжеловесной линии с 35+ осевой нагрузкой, радиус кривых < 875 м		
>50 мГТ	350 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 300 мм откос балл.призмы	~ 3-6 месяцев с мониторингом профиля рельсов
30-49 мГТ	350 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 300 мм откос балл.призмы	~ 4-6 месяцев с мониторингом профиля рельсов

Грузонапряженность	Балласт	Инспекция геометрии
20-29 мГТ	350 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 300 мм откос балластной призмы	~ 6 месяцев с мониторингом профиля рельсов
Для выделенной тяжеловесной линии с 30-34 осевой нагрузкой		
>50 мГТ	300 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 300 мм откос балластной призмы	~ 3-6 месяцев с мониторингом профиля рельсов
30-49 мГТ	300 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 300 мм откос балластной призмы	~ 4-6 месяцев с мониторингом профиля рельсов
20-29 мГТ	250 мм дробленого камня + 100 мм подбалласта 300 мм откос балластной призмы	~ 6 месяцев с мониторингом профиля рельсов
Для выделенной тяжеловесной линии с 35+ осевой нагрузкой, радиус кривых ≥ 875 м		
>50 мГТ	350 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 250 мм откос балластной призмы	~ 3-6 месяцев с мониторингом профиля рельсов
30-49 мГТ	350 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 250 мм откос балластной призмы	~ 4-6 месяцев с мониторингом профиля рельсов
20-29 мГТ	350 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 250 мм откос балластной призмы	~ 6 месяцев с мониторингом профиля рельсов
Для выделенной тяжеловесной линии с 30-34 осевой нагрузкой, радиус кривых ≥ 875 м		

Грузонапряженность	Балласт	Инспекция геометрии
>50 мГТ	350 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 250 мм откос балластной призмы	~ 4-6 месяцев с мониторингом профиля рельсов
30-49 мГТ	350 мм дробленого камня + 200 мм подбалласта 250 мм откос балластной призмы	~ 6-8 месяцев с мониторингом профиля рельсов
20-29 мГТ	250 мм дробленого камня + 100 м подбалласта 250 мм откос балластной призмы	~ 6-8 месяцев с мониторингом профиля рельсов

Стандартный балластный путь на железных дорогах с большим объемом грузовой работы из-за высоких осевых нагрузок и высокого тоннажа пропускаемых составов подвергается крайне интенсивному воздействию, что приводит к износу компонентов пути, включая балласт. С целью минимизации необходимости текущего содержания и оптимизации эксплуатационной готовности крайне важным является использование высококачественных компонентов железнодорожного пути. Подшпальные прокладки (Австрия) последнего поколения характеризуются идеальным соотношением эластических и пластических свойств, обеспечивают оптимальное распределение нагрузки в верхнем строении пути и способствуют снижению контактного давления в системе «шпала-балласт». Лабораторные и полевые испытания подтверждают, что это приводит к более устойчивому сохранению высокого качества балластной призмы.

В работе [19] отмечается, что железнодорожный путь с вождением тяжеловесных поездов подвергается крайне высокой нагрузке. Австрийский опыт использования подшпальных прокладок из полиуретанового эластомера может оказаться благоприятным, так как увеличение площади поверхности

контакта в системе «шпала/балласт» приводит к уменьшению осадки пути. Результатом оказывается сохранение качества подрельсового основания, сокращение потребности в текущем содержании пути и затрат за срок службы железнодорожного пути, а также повышение эксплуатационной готовности пути. Инновационные разработки в сегменте эластических компонентов пути способны значительно улучшить традиционную структуру верхнего строения пути.

За последние 10 лет добыча угля в Китае удвоилась и достигла более 3,5 млрд т, или 49% общемировой. Ремонтные работы по усилению пути в условиях тяжеловесного движения в Китае поэтапно направлены на повышение сопротивления поперечному сдвигу пути, усиление предельного момента изгиба шпал, повышение сопротивления рельсовых креплений опрокидыванию в кривых малого радиуса, а также на оптимизацию конструкции стрелочных переводов и применяемых в них материалов за счет увеличения срока службы крестовин и острияков. В настоящее время для железной дороги Shuo Huang Railway (SHR) спроектированы и проходят испытания бетонные шпалы двух типов. Испытания проводятся на экспериментальном участке тяжеловесного движения транспортно-технологического центра (ТТЦИ) в Пуэбло (штат Колорадо, США). Испытания показали для новых шпал положительный момент 22,57 кН/м, что выше на 18% соответствующего показателя для существующих шпал типа Ш.

Современные условия работы железных дорог создают новые проблемы для отрасли железнодорожного транспорта в части текущего содержания и ремонта пути. Осваивая большие объемы перевозок, железнодорожные сети работают на пределе провозной способности. Как следствие высоких осевых нагрузок от подвижного состава, действующие в пути силы вызывают ускоренное разрушение пути и искусственных сооружений, снижая тем самым потребительские ожидания их жизненного цикла. Соответственно возрастают требования к текущему содержанию пути.

Все это важно учитывать при проведении реконструкции под повышенные осевые нагрузки на отдельных участках или целых направлениях железных дорог. Принято условно считать, что повышенные осевые нагрузки 29,8 т и более создаются вагонами массой брутто 119,3 т и выше. В железнодорожной компании Union Pacific (UP) условия высоких осевых нагрузок определяют как число тонн, приходящихся на один вагон (ось), число высоких осевых нагрузок в сутки и грузооборот брутто в год, а именно:

- если приходится не менее 129,7 т в расчете на один вагон, или не менее 32,5 т в расчете на одну ось;
- если число высоких осевых нагрузок в сутки составляет не менее 1000;
- если годовой грузооборот брутто составляет не менее 68 млн. т.

Как видно из таблицы 1.8, на тяжеловесных линиях мира достигнуты максимальная осевая нагрузка 37 — 40 тс, масса состава — 48 тыс. т, число вагонов — 320 (Австралия) и 41000 т, 342 вагона при осевой нагрузке 30 тс/ось (ЮАР), грузонапряженность в 300 млн. т брутто при массе поезда 20000 т и осевой нагрузке 25 тс (Китай).

Таблица 1.8 - Показатели работы железных дорог с тяжеловесным движением

Страна	Железные дороги и пункты	Ширина колеи, мм	Специализация линии	Длина линии, км	Млн. т бр в год	Масса поезда, тыс. т	Число вагонов в поезде	Осевая нагрузка, тс/ось
Австралия	Пилбара, ВНР ВЮ	1435	Специализированная (железная руда)	426 (+1000)	71,3 (125)	48	320	37,5
Австралия	Пилбара, FMG	1435	То же	256	58	38,4	240	40
Австралия	Пилбара, Rio Tinto	1435	»	1400*	180	34	236	36
Бразилия	CVRD/EFC (Каражас – Сан-Луис)	1600	»	892	60	25,5	206	31,5
Бразилия	CVRD/EFVM (Витория – Минас)	1000	Специализированная	898	130	29,3	240	30,5

Продолжение Таблицы 1.8

Страна	Железные дороги и пункты	Ширина колеи, мм	Специализация линии	Длина линии, км	Млн. т бр в год	Масса поезда, тыс. т	Число вагонов в поезде	Осевая нагрузка, тс/ось
Канада	СР (до Ванкувера)	1435	Преимущественно специализированная (уголь)	1100	25	13,2	110	30
Китай	Датонг – Кинхуангдао	1435	специализированная (уголь)	663	300	20	200	25
Индия	IR, Джалгаон – Айни	1435	Смешанное движение	415	41	5,06	58	21,8
Индия (проект)	IR, Восточный и Западный коридоры	1435	Специализированная (двухэтажные контейнеры, железная руда)	1839-1499	-	12	120	25
Россия	РЖД (участки Кузбасс – Находка)	1520	Смешанное движение (уголь и другие грузы)	5900	До 80	6,3-9,0	70-100	23,5
США	UP	1435	Специализированная	201	376*	16,46	120	32,4
США	CXST	1435	То же	188	47,4	11,7	90	32,4
Норвегия	LCAB (Нарвик – Кируна – Лулео)	1435	Специализированная (железная руда)	497 (39 км в Норвегии)	13	8,52	68	31
ЮАР	Transnet (Сишен – Салданья-Бей)	1067	Специализированная (железная руда)**	860	46,2	41	342	30
ЮАР	Transnet (Ричарде – Бей)	1067	Специализированная (уголь)	580	62	22	210	26

*Суммарно по всем направлениям от мест добычи

** Есть небольшая доля пассажирского движения

При оценке этих показателей и их сопоставлении с соответствующими данными железных дорог других стран следует иметь в виду сложность плана и профиля, климатические условия и, главное, для каких целей использовался этот вид движения. Для внутренних линий со сложным географическим рельефом местности масса поездов составляет 12000 – 16000 т (США, Канада), 20000 т (Китай) и до 9000-12000 т (Россия).

Выводы по главе

1. В конце 20 – начале 21 века вопрос о необходимости разработки специальной системы технического обслуживания пути на горно-перевальных участках не был актуальным по причине относительно невысоких объемов перевозочной работы. В настоящее время при грузонапряженности до 180 млн т брутто и перспективах ее дальнейшего повышения до 220-230 млн т брутто, указанный вопрос приобрел повышенную значимость.

2. Проведенный анализ нормативной документации показал, что в мировой и отечественной практике отсутствует термин «горно-перевальный участок».

3. Отсутствует система технического обслуживания пути на горно-перевальных участках, включая выбор количества и продолжительности «окон» с оценкой пропускной способности линий.

4. Очевидно, что для более точной и обоснованной выработки критериев определения «горно-перевального участка» в условиях высокой грузонапряженности и сложных условиях эксплуатации, необходимо тщательно изучить влияние факторов эксплуатационного воздействия на структуру поездопотока, профиль линии, систему лубрикации, интенсивность выхода из строя элементов верхнего строения пути, организацию работ по техническому обслуживанию пути.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПУТИ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПОЛИГОНАХ СЛЮДЯНСКОЙ И МЫСОВСКОЙ ДИСТАНЦИЙ ПУТИ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

На сегодняшний день работа железнодорожного пути происходит в усложняющихся условиях эксплуатации.

Эффективность работы инфраструктуры путевого комплекса за период с 2014 по 2020 год можно оценить на основании анализа динамики нагрузок от подвижного состава и степени повреждаемости элементов верхнего строения пути от них. По сети железных дорог за указанный период рост средней грузонапряженности составил 12,17%, осевой нагрузки – 30% (с 12,97 тс в 2014 г до 16,87 тс (по отдельным путям до 20 тс) в 2019 г), веса поезда – 8%. В перспективе возможен дальнейший рост этих показателей.

По данным Слюдянской дистанции пути Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры, рост грузонапряженности по 2 пути горно-перевального участка Большой Луг – Слюдянка за период 2014-2019 годов составил 27%. К 2036 году ожидается дальнейшее увеличение грузонапряженности до 236 млн. т брутто. (рисунок 2.1).

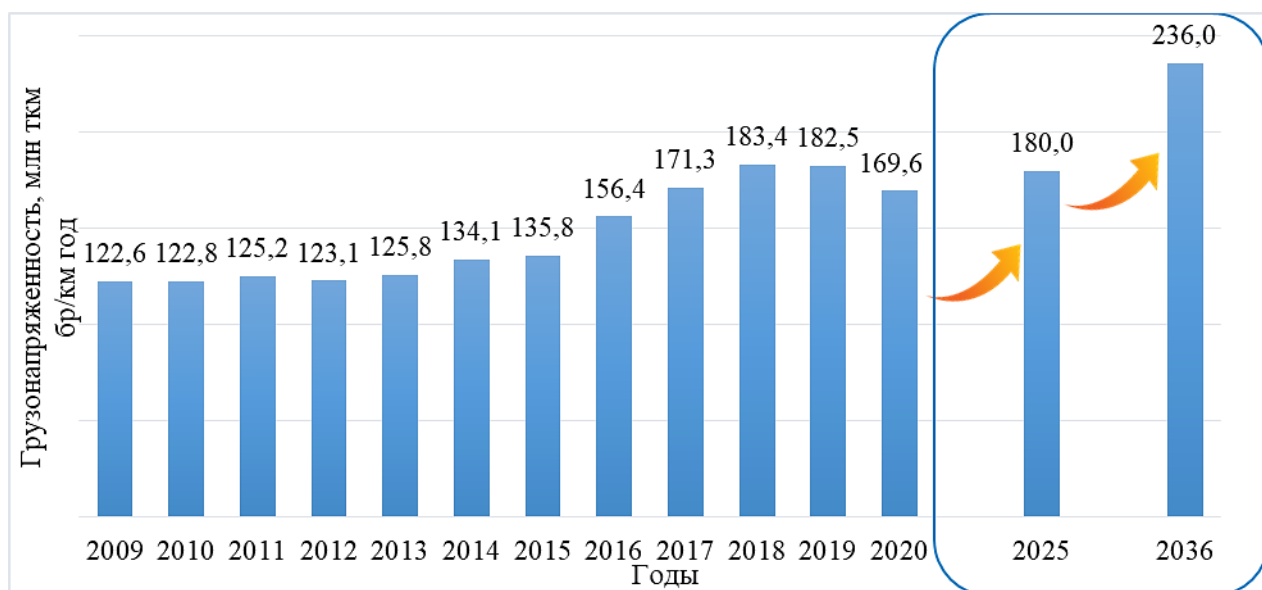


Рисунок 2.1 – Динамика роста грузонапряженности на 2 пути
горно-перевального участка Большой Луг – Слюдянка

Потребность в необходимости интенсификации перевозочного процесса приводит к необходимости увеличения длины и веса поездов, росту осевых нагрузок, что требует разработки и внедрения новых локомотивов, способных реализовывать повышенные тяговые усилия [20, 54].

Большие силовые воздействия в контакте «колесо-рельс» (особенно при движении в условиях сложного плана и профиля на перевале), приводят к более интенсивному развитию поверхностных дефектов рельсов на участках максимальной тяги и рекуперативного торможения [21, 22, 57].

В настоящее время на особо напряженных направлениях Восточно-Сибирской железной дороги ежегодно увеличивается эксплуатация локомотивов современной конструкции с поосным регулированием силы тяги, с асинхронными двигателями, в том числе 2ЭС6 («Синара»), 2ЭС10, 3ЭС10 («Гранит»), 2ЭС5К, 3ЭС5К («Ермак»), обладающие большей тяговой мощностью по сравнению с эксплуатируемыми ранее ВЛ-80 и их модификациями. Также увеличивается количество инновационных вагонов с нагрузкой на ось 25 тс. За последние 5 лет по сети парк инновационных вагонов с осевой нагрузкой 25 т увеличен более чем в 6 раз (количество инновационных вагонов с нагрузкой на ось 25 т, курсирующих в границах Восточно-Сибирской железной дороги, возросло с 977 шт. в 2017 году до 13404 шт. в 2021 году (более чем в 13 раз), а парк локомотивов (с асинхронным приводом) в 2-х, 3-х, 4-х секционном исполнении возрос на 71%.

Экспресс-анализ динамики одиночного выхода рельсов на горно-перевальном участке с 2014 года свидетельствует о росте отказов на 40% (одиночный выход рельсов в 2019 г. составил 251 шт. против 151 шт. в 2014 г.) на 2 пути, и на 70% (одиночный выход рельсов в 2019 г. - 94 шт. против 28 шт. в 2014 г.) на 1 пути.

Поддержание пути в технически исправном состоянии в условиях перевального участка требует разработки специальных мер по организации

технического обслуживания пути с учетом особенностей работы конструкции пути в данных условиях и динамики накопления расстройств.

2.1 Характеристики участков анализа

Сравнительный анализ особенностей работы железнодорожного пути в условиях перевального участка и на более равнинной местности проводился в границах Слюдянской (ПЧ-9) и Мысовской (ПЧ-10) дистанций пути направления Иркутск-Чита. Данные участки находятся в равных эксплуатационных условиях (по грузонапряженности, осевым нагрузкам, типам обращающегося подвижного состава и т.д.).

Влияние структуры поездопотока на характеристики состояния пути оценивалось путем сравнения полученных данных с нечетного (1) и четного (2) путей: на 2 пути обращаются груженные составы, а на 1 пути – порожние.

Конструкции верхнего строения пути в границах дистанций представлены следующими типами – бесстыковой путь с железобетонными шпалами на щебеночном балласте. Имеются участки звеньевое пути с деревянными шпалами. Рельсы – Р65.

Анализ протяженности кривых участков на перегонах Слюдянской и Мысовской дистанций пути показал, что на большинстве перегонов протяженность кривых радиуса 1200 м и менее превышает 70% от длины всех кривых на участке – рисунки 2.2, 2.3.

При этом, крутизна уклонов на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка, составляющим 47% протяженности главных путей Слюдянской дистанции пути, достигает 21‰. На Мысовской дистанции величина уклонов профиля находится в диапазоне $\pm 10\text{‰}$.

Следует отметить, что полигон опытных дистанций характеризуется не только большой протяженностью кривых малого радиуса и участками сложного профиля, но и наличием мест селевых сплывов, осыпей камней, бурных горных рек, близкого расположения Байкала от железнодорожного полотна и другими географическими особенностями местности.

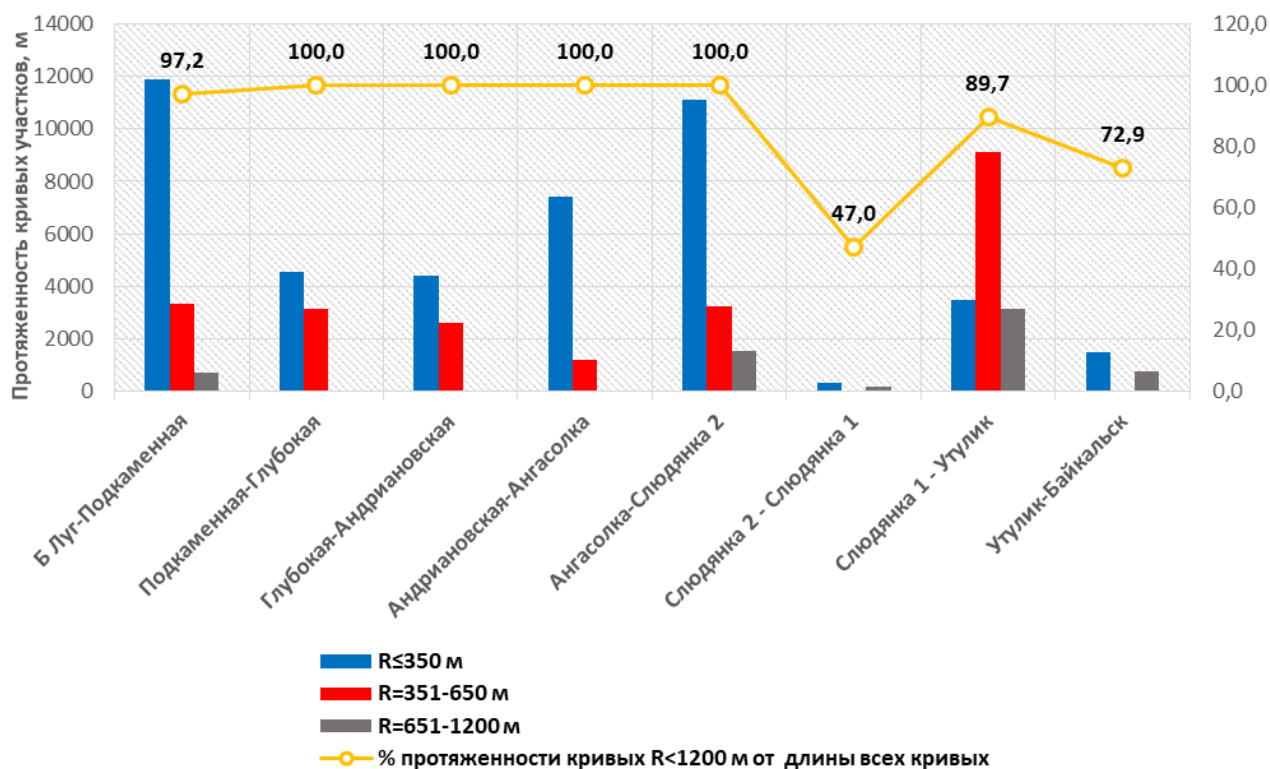


Рисунок 2.2 – Протяженность кривых участков пути различного радиуса в границах ПЧ-9 (Большой Луг – Байкальск)

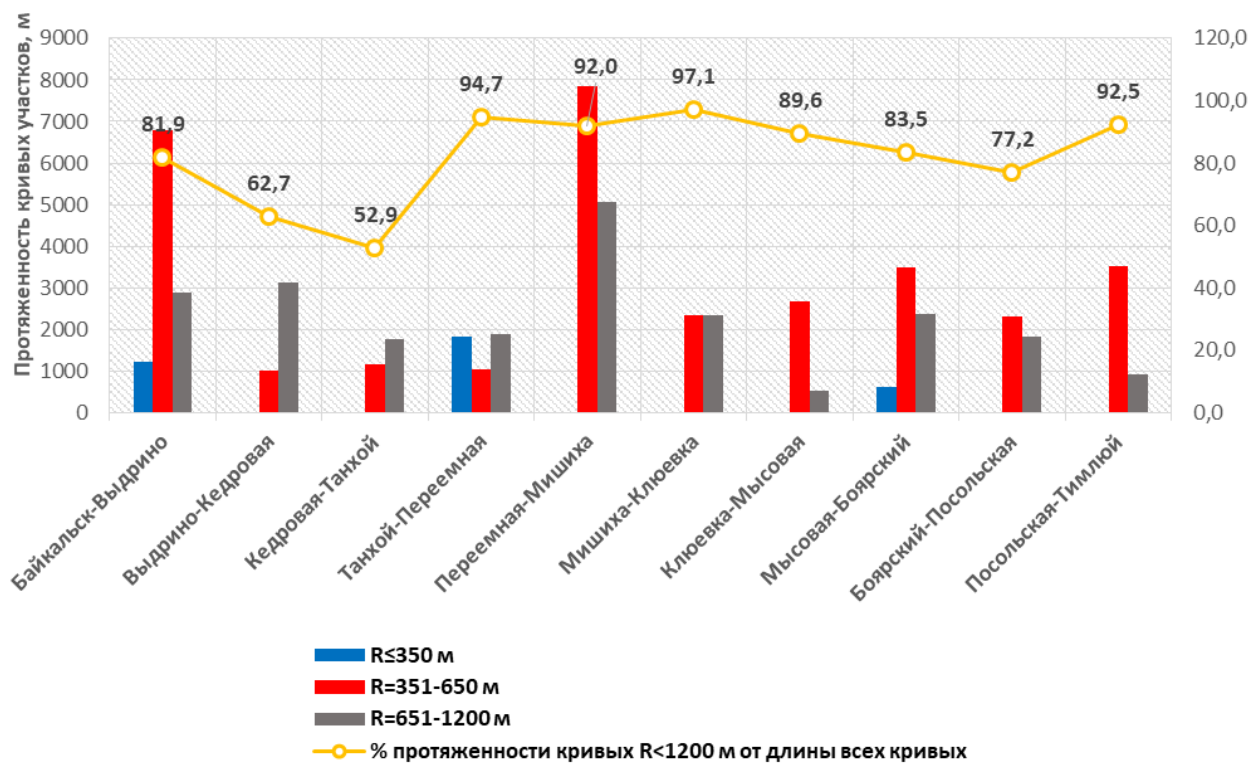


Рисунок 2.3 – Протяженность кривых участков пути различного радиуса в границах ПЧ-10 (Байкальск - Тимлюй)

2.2 Износ рельсов в кривых в условиях тяжеловесного движения на горно-перевальных участках Восточного полигона

2.2.1 Ретроспективный анализ влияния различных факторов на боковой износ рельсов

Оценка интенсивности износа рельсов в кривых на опытных участках производилась с использованием статистической обработки данных об интенсивности износа рельсов в кривых радиуса менее 350 м, полученных в следующие временные периоды:

2010 – 2014 гг;

2015 – 2019 гг;

2020 – 2021 гг.

Временные диапазоны были подобраны исходя из существующих на заданный период времени условий эксплуатации и применяемой технологии рельсосмазывания (в т.ч., ее периодичности).

В результате обработки массива данных были определены максимальные и минимальные значения интенсивности износа для каждого временного периода.

По итогам ретроспективного анализа проводилась оценка влияния на динамику изменения интенсивности бокового износа рельсов следующих факторов:

применяемой технологии лубрикации рельсов и периодичности рельсосмазывания (сравнение интенсивности износа рельсов в различные временные периоды);

структуры поездопотока (сравнение интенсивности износа рельсов на 1 и 2 путях);

плана и профиля линии (сравнение интенсивности износа рельсов на горно-перевальном участке Слюдянской дистанции пути и на более равнинной местности на Мысовской дистанции пути).

Результаты проведенного анализа приведены на рисунках 2.4-2.5.

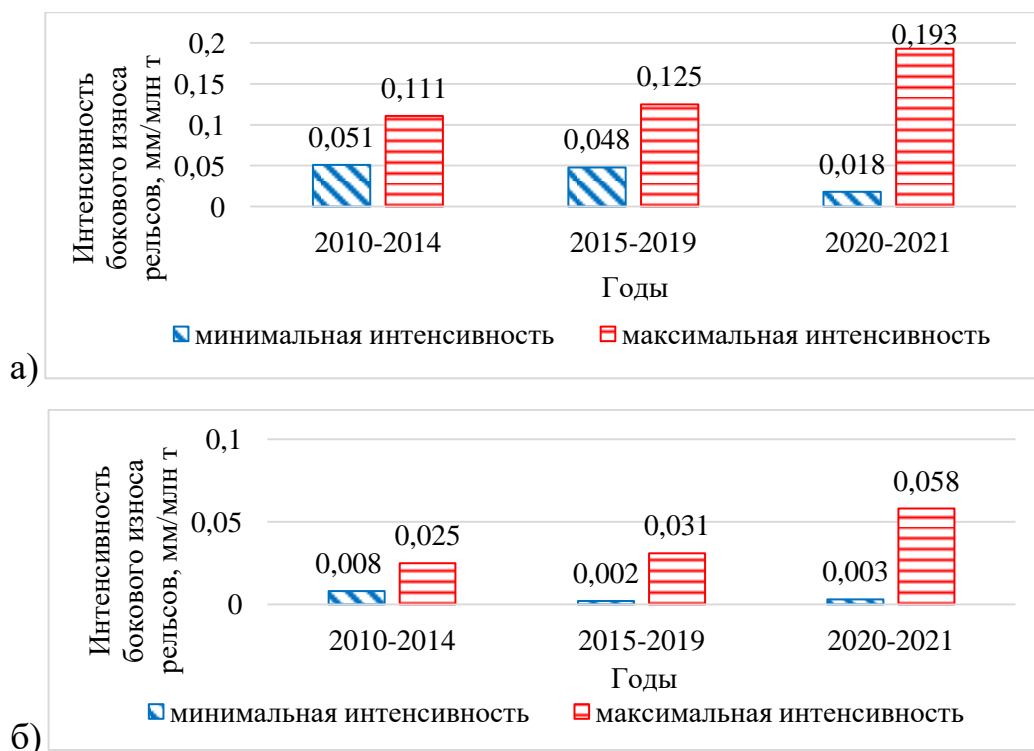


Рисунок 2.4 – Интенсивность бокового износа рельсов на 2 пути
 а) горно-перевального участка Б.Луг – Слюдянка II
 б) на Мысовской дистанции

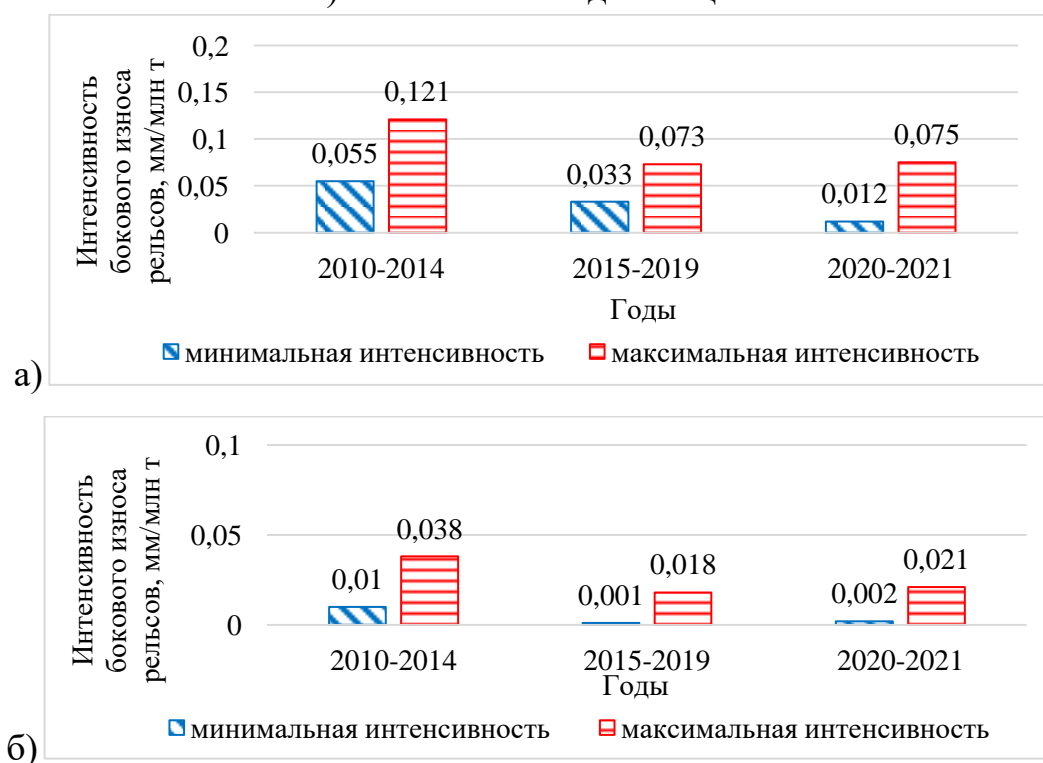


Рисунок 2.5 – Интенсивность бокового износа рельсов на 1 пути
 а) горно-перевального участка Б.Луг – Слюдянка II
 б) на Мысовской дистанции

2.2.2 Влияние частоты лубрикации рельсов

До 2012 года лубрикация рельсов в кривых на горно-перевальном участке преимущественно осуществлялась локомотивами-рельсосмазывателями, работа которых требовала выделения отдельных ниток в графике движения, а также занятости нескольких локомотивных бригад. Смазка рельсов осуществлялась до 6 раз в сутки, однако без видимого эффекта: интенсивность бокового износа рельсов на 2 пути достигала 0,111 мм/млн т, на 1 пути, с грузонапряженностью в 3 раза меньшей – до 0,121 мм/млн т (рисунки 2.4-2,5, а).

С 2012 года на направлении Иркутск-Слюдянка начали работать первые вагоны-рельсосмазыватели в составе пассажирских поездов. Периодичность рельсомазывания на начальном этапе составляла 2 раза в сутки по обоим путям.

2015 год на Восточном полигоне характеризуется началом развития тяжеловесного движения. В этот период начинается эксплуатация вагонов с повышенными осевыми нагрузками, появляются локомотивы повышенной мощности. 2015 год характеризуется внедрением ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте [56].

Согласно Концепции развития технологии лубрикации зоны контакта «колесо-рельс», утвержденной в 2015 году, лубрикация рельсов должна осуществляться в зависимости от грузонапряженности на участке [23]:

при Γ 45 млн т бр/км в год – не менее чем с одним проходом в двое суток;

при Γ 45-80 млн т бр/км в год – с одним проходом в сутки;

при Γ более 80 млн т бр/км в год – не менее чем с тремя проходами в двое суток.

Таким образом, частота рельсосмазывания на перевальном участке была увеличена до 3-х раз в сутки. Реализация указанных мер позволила снизить

интенсивность бокового износа рельсов на 1 пути почти в 2 раза (до 0,073 мм/млн т) – рисунок 2.5, а.

В настоящее время на 2 пути горно-перевального участка существующая схема лубрикации не реализована в полной мере. Это объясняется «пакетным» графиком движения пассажирских поездов, в состав которых включают вагоны-рельсосмазыватели. В результате смазка рельсов осуществляется неравномерными интервалами с перерывами более 13 часов, что приводит к увеличению интенсивности износа рельсов до 0,193 мм/млн т – рисунок 2.6, а. Для продления срока службы рельсов по боковому износу в кривых малого радиуса на перевальном участке, в числе прочих мер, необходимо соблюдение периодичности работы вагонов-рельсосмазывателей, а также технологии и качества смазки.

2.2.3 Влияние структуры поездопотока

Анализ влияния структуры поездопотока выполнялся по данным об интенсивности износа рельсов на 1 и 2 путях.

На четном пути обращаются грузовые составы, на нечетном – порожние.

По результатам анализа диаграмм (рис. 2.5 - 2.6) было получено, что за счет изменения схемы рельсосмазывания, после 2015 года интенсивность износа рельсов на 1 пути снизилась, а на 2 – возросла.

Однако до 2015 года существовала обратная картина – интенсивность износа рельсов на 1 пути была такая же или выше, чем на аналогичных кривых 2 пути.

В работе [24] при участии автора, был проведен анализ влияния осевой нагрузки (2 «грузовой» и 1 «порожний» путь) на интенсивность износа рельсов, результаты которого показали, что увеличение темпов износа рельсов на порожнем пути по сравнению с грузовым объясняется тем, что на 1 млн. т прошедшего тоннажа по грузовому пути проходит порядка 10 000 груженых вагонов весом 94 т, в то время как на порожнем пути такому

же количеству прошедшего тоннажа соответствует примерно 42 000 порожних (с весом нетто 22 т). Однако по фактическим данным, результаты бокового износа рельсов от воздействия порожних и груженых вагонов различаются на 130 – 150%, в то время как различие в осевой нагрузке порядка 400%, что свидетельствует о влиянии количества прошедших осей и их вписывания в кривые. В работе также отмечено, что на степень износа рельсов существенное влияние оказывает состояние пути и подвижного состава.

Такие случаи упоминались в научно-технической литературе, например, в работе [25] приведена формула, отражающая связь между интенсивностью бокового износа рельсов по четному и нечетному пути и соответствующими осевыми нагрузками:

$$\frac{I_{\text{из.четн.}}}{I_{\text{из.нечетн.}}} = \left(\frac{P_{\text{ос.четн.}}}{P_{\text{ос.нечетн.}}} \right)^n, \quad (2.1)$$

где $I_{\text{из.четн.}}$ и $I_{\text{из.нечетн.}}$ – интенсивность бокового износа рельсов по четному и нечетному пути;

$P_{\text{ос.четн.}}$ и $P_{\text{ос.нечетн.}}$ – соответствующие осевые нагрузки;

n – показатель степени.

В той же работе приводится значение показателя степени n для участков пути с кривыми малого (350 м и менее) радиуса равное 0,32. В работе отмечается хорошая сходимость приведенной математической модели с экспериментальными данными.

Таким образом, зависимость между интенсивностью износа рельсов и осевой нагрузкой во многом определяется состоянием подвижного состава и железнодорожного пути, а также условиями их взаимодействия, зависящими от геометрии пути и уровня реализуемой тяги.

Вопрос влияния геометрии пути на интенсивность износа рельсов на перевальном участке более подробно рассмотрен в следующих разделах.

2.2.4 Влияние профиля линии

Сравнительный анализ интенсивности износа рельсов проводился для

перевального участка и более равнинного участка на Мысовской дистанции пути. Как указывалось выше, рассматривались кривые радиуса менее 350 м.

За весь анализируемый период (с 2010 года) интенсивность износа рельсов в кривых на Мысовской дистанции значительно ниже, чем на перевальном участке (таблицы 2.1-2.2):

Таблица 2.1 – Интенсивность бокового износа рельсов на 1 пути

Временной период		Перевальный участок	Равнинный участок
		Интенсивность бокового износа рельсов, мм/млн т	
2010-2014	мин	0,055	0,010
	макс	0,121	0,038
2015-2019	мин	0,033	0,001
	макс	0,073	0,018
2020-2021	мин	0,012	0,002
	макс	0,075	0,021

Таблица 2.2 – Интенсивность бокового износа рельсов на 2 пути

Временной период		Перевальный участок	Равнинный участок
		Интенсивность бокового износа рельсов, мм/млн т	
2010-2014	мин	0,051	0,008
	макс	0,111	0,025
2015-2019	мин	0,048	0,002
	макс	0,125	0,031
2020-2021	мин	0,018	0,003
	макс	0,193	0,058

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

Более интенсивному боковому износу подвержены рельсы в кривых на горно-перевальном участке, расположенные на участках затяжного подъема и крутого спуска (ст. Андриановская и прилегающие перегоны) и наоборот, в конце участков спуска интенсивность бокового износа рельсов значительно ниже - рисунок 2.6.

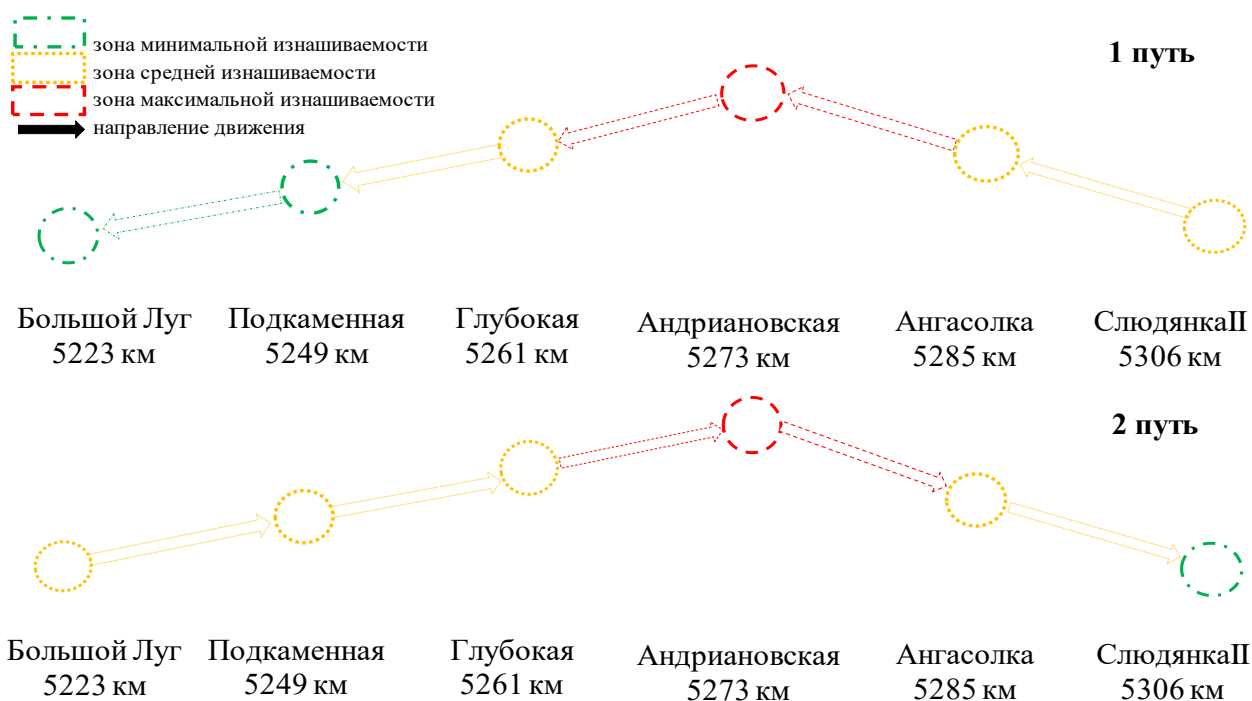


Рисунок 2.6 – Схематичный профиль горно-перевального участка от ст. Большой Луг до ст. Слюдянка II с делением на зоны, характеризующие степень изнашиваемости рельсов в кривых

2.3 Статистический анализ зависимости интенсивности бокового износа рельсов от параметров устройства пути

Приведенный ретроспективный анализ интенсивности бокового износа рельсов иллюстрирует общую тенденцию изменения степени изнашиваемости рельсов в зависимости от условий эксплуатации, однако для получения более точных оценок, величина бокового износа рельсов (h) должна рассматриваться с точки зрения функций вида:

$$h = f(T; R; i),$$

где:

h – боковой износ рельсов, мм;

T – пропущенный тоннаж, млн т;

R – радиус кривой, м;

i – величина уклона.

Очевидно, что функция величины бокового износа будет тяготеть к неблагоприятному сочетанию указанных параметров (увеличиваться при наработке тоннажа, увеличении уклона и уменьшении радиуса), которое наблюдается, как правило, на горно-перевальных участках.

С использованием этой теории были построены зависимости величины бокового износа рельсов h от пропущенного тоннажа и радиуса кривой на перевальном и равнинном участках – рисунки 2.7 и 2.8.

Рассматривались зависимости увеличения величины бокового износа рельсов при наработке тоннажа в кривых участках в следующих диапазонах радиуса:

350 и менее, 351-700, более 700 м в границах перевального участка

500 и менее, 501-1000, более 1000 м в границах равнинного участка.

Анализ скорости развития бокового износа рельсов при наработке тоннажа показывает, что функции увеличения бокового износа рельсов при росте пропущенного тоннажа изменяются нелинейно и могут быть описаны степенной или экспоненциальной функциями.

Полученные аппроксимирующие функции трендов с достаточной точностью описывают характер зависимостей, о чем свидетельствует величина коэффициента детерминации $R^2 = 0,7 - 0,95$.

При увеличении радиуса кривой от 350 до 700 м на горно-перевальном участке Слюдянской дистанции пути боковой износ рельсов уменьшается в 1,1 – 1,2 раза на обоих путях, на Мысовской дистанции пути при увеличении радиуса от 500 до 1000 м боковой износ рельсов уменьшается в 1,3 – 2,15 раз на 1 пути, в 2,4 – 3,4 раза на 2 пути (в зависимости от наработки тоннажа).

На обеих дистанциях наблюдается явно выраженный рост функций при малых значениях радиусов кривых.

Анализ показал, что в опытных кривых на 2 пути перевального участка величина бокового износа рельсов до 16,5 мм была достигнута при наработке до 200 млн. т брутто, а на равнинном участке, по фактическим данным,

боковой износ рельсов не превысил 6 мм.

На 1 пути Слюдянской дистанции пути величина бокового износа рельсов при наработке тоннажа 250-500 млн т находится в диапазоне 10 – 14 мм, на Мысовской дистанции пути – 2-5 мм.

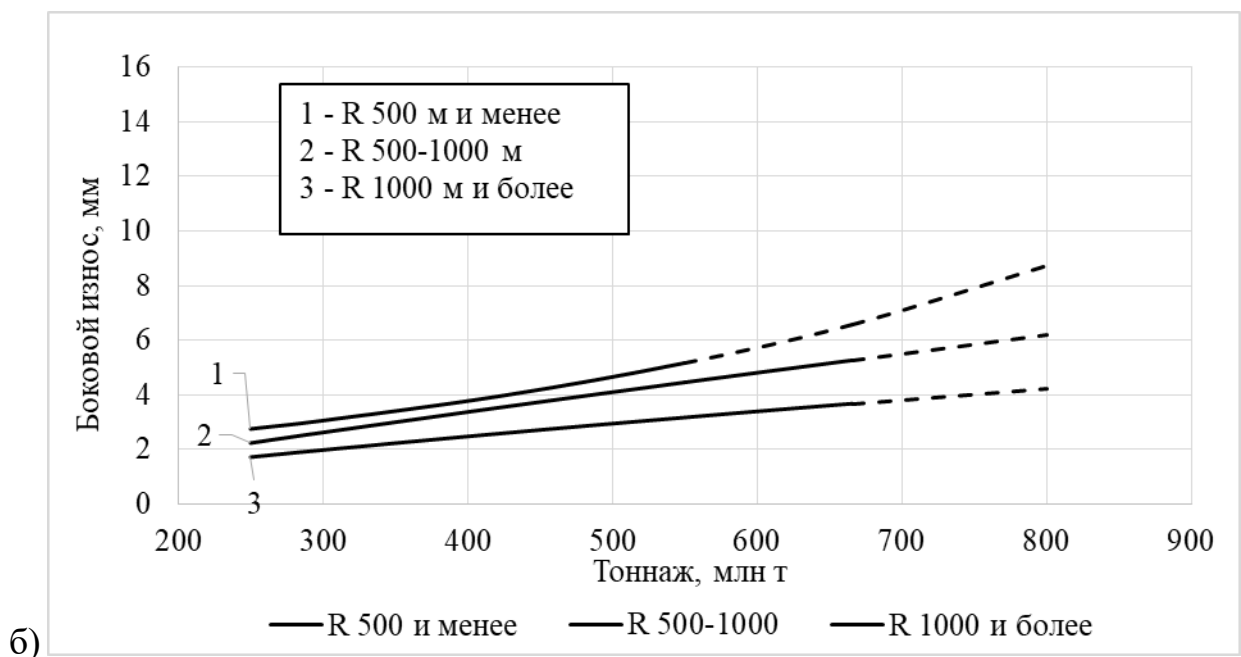
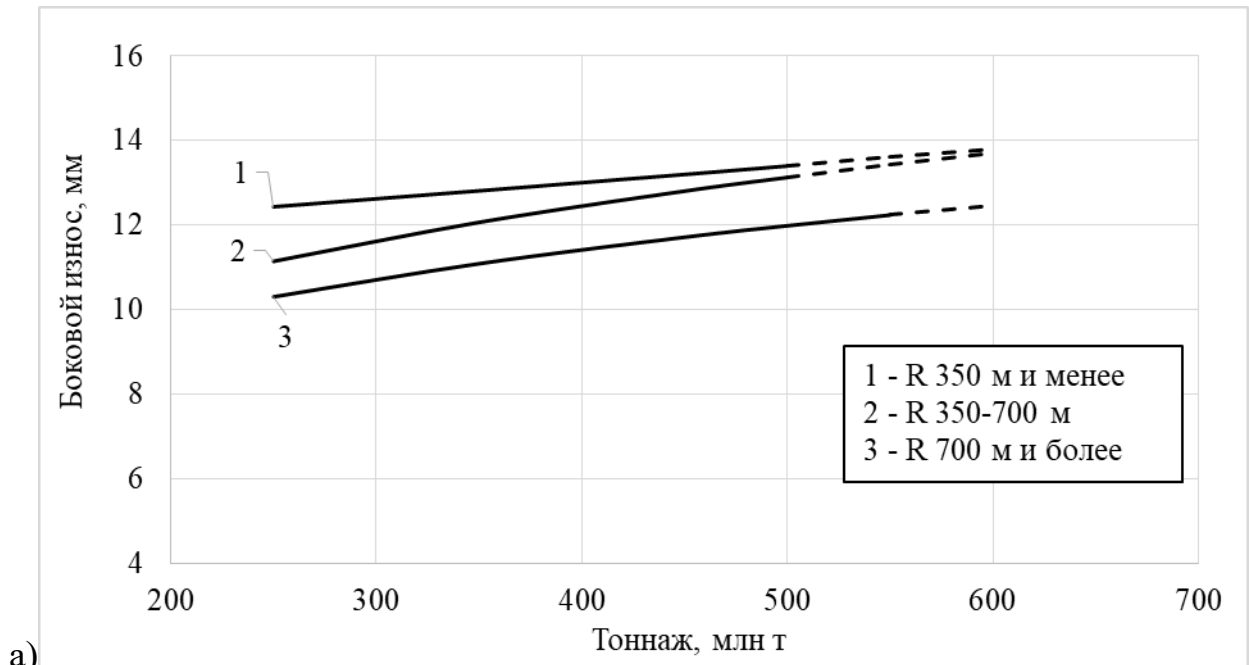


Рисунок 2.7 – Усредненные зависимости фактической и теоретической величины бокового износа (мм) рельсов от наработки тоннажа на 1 пути

а) перевального участка

б) равнинного участка

— - фактические данные

- - - - теоретические данные

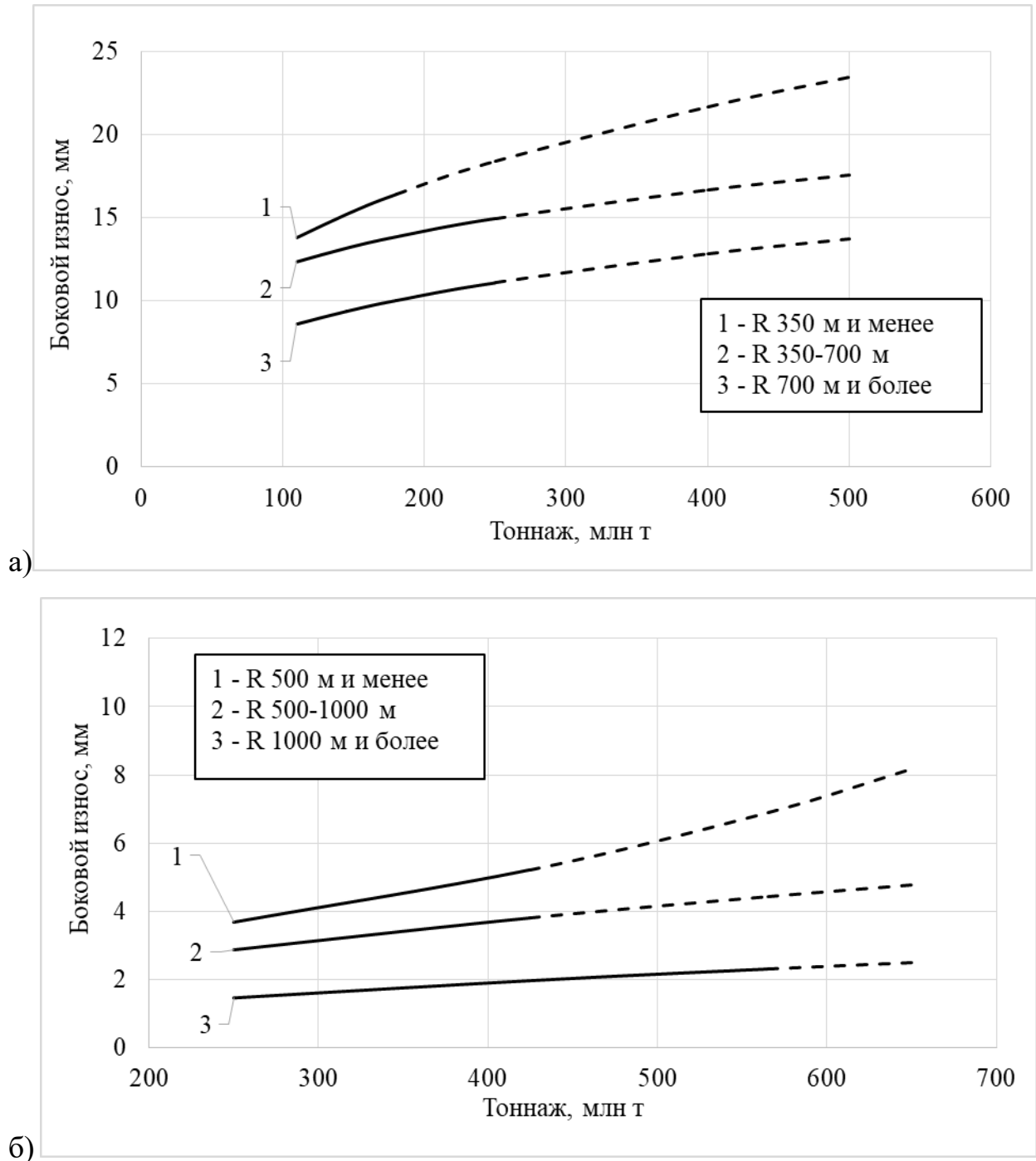


Рисунок 2.8 – Усредненные зависимости фактической и теоретической величины бокового износа (мм) рельсов от наработки тоннажа на 2 пути

а) перевального участка

б) равнинного участка

————— - фактические данные

- - - - - теоретические данные

Ниже приведены зависимости изменения интенсивности бокового износа (мм/млн т) рельсов от радиуса кривых (рис. 2.9-2.10).

Графики были построены для обоих путей, с различной грузонапряженностью.

Полученные в процессе проводимого анализа зависимости изменения интенсивности бокового износа рельсов от радиуса кривых характеризуют высокую скорость изнашивания рельсов в кривых малого радиуса на горно-перевальном участке (в среднем до 0,12 мм/млн т на 2 (грузовом) пути, и до 0,05 мм/млн т на 1 пути), в то время как на равнинном участке – до 0,032 мм/млн т на 2 пути, и до 0,013 мм/млн т на 1 пути, что в несколько раз ниже. Полученные результаты эксплуатационных наблюдений указывают на существование тесной статистической связи между интенсивностью износа рельсов и параметрами устройства пути [62].

Повышенная интенсивность изнашивания рельсов на перевальном участке указывает на существование потребности в более частом проведении работ по техническому обслуживанию пути.

Для этого необходима разработка комплекса мер по техническому обслуживанию пути для данных географических и эксплуатационных условий.

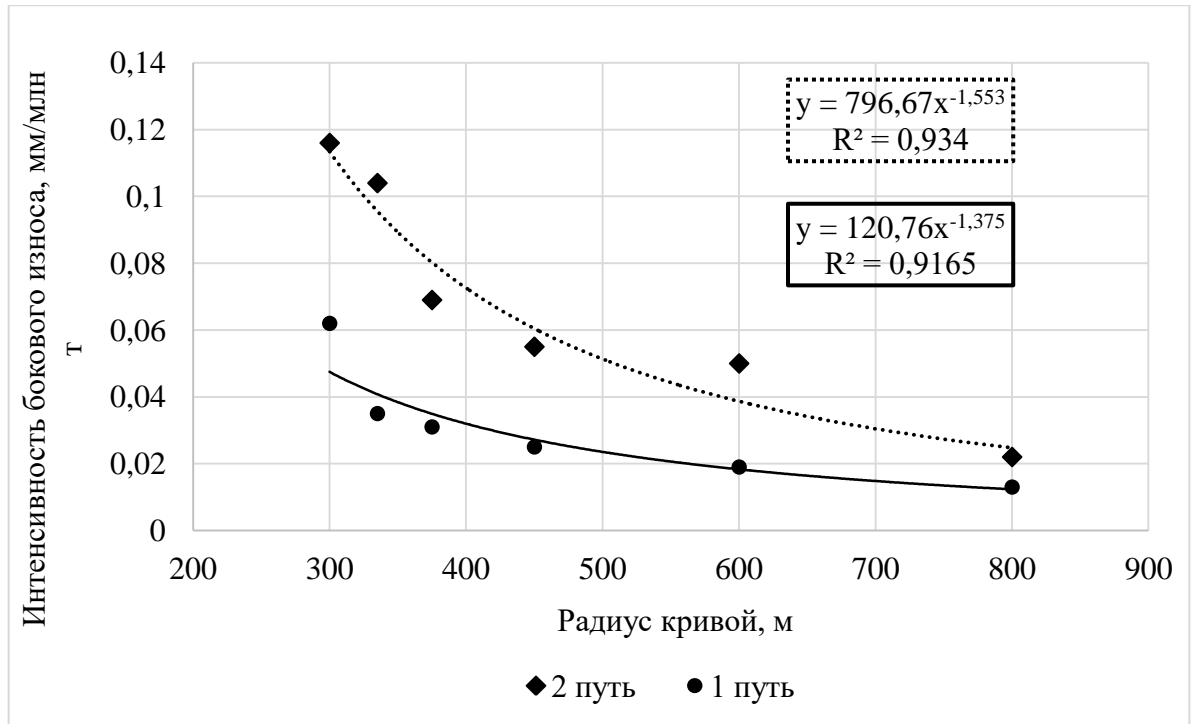


Рисунок 2.9 – Интенсивность бокового износа (мм/млн т) рельсов в зависимости от радиуса кривой на горно-перевальном участке

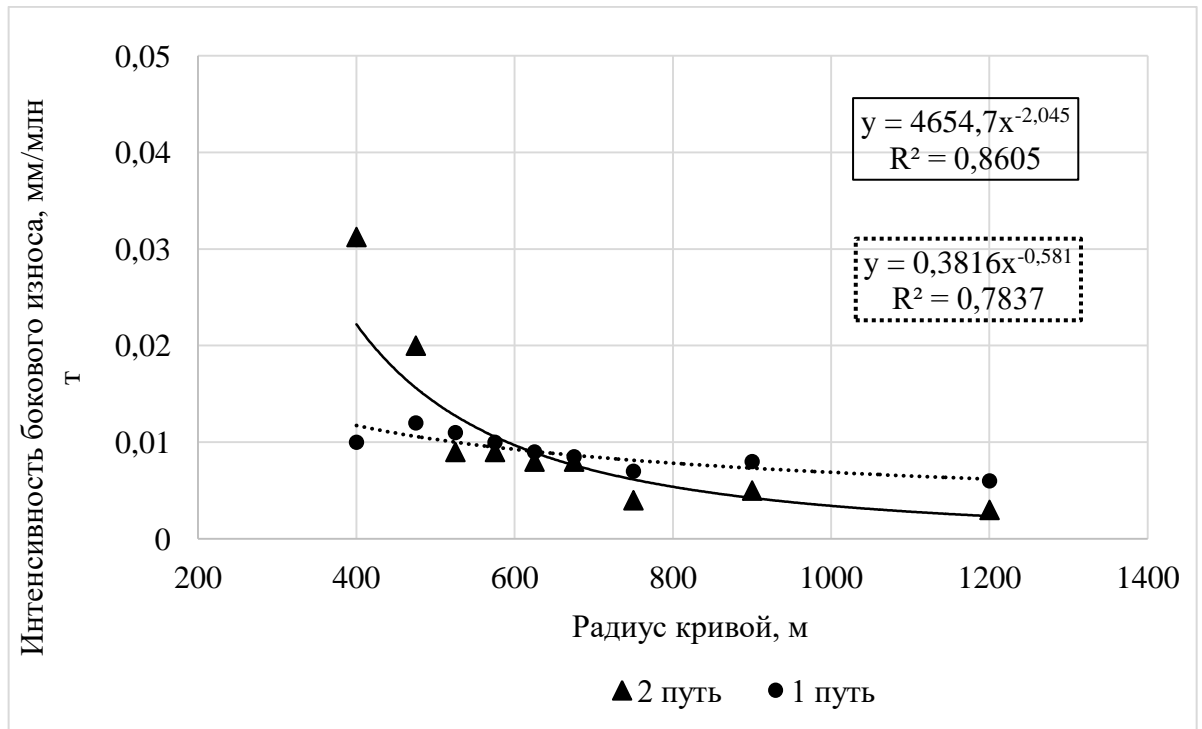


Рисунок 2.10 – Интенсивность бокового износа (мм/млн т) рельсов в зависимости от радиуса кривой на равнинном участке

2.3.1 Состояние геометрии рельсовой колеи на опытных участках

Анализ состояния геометрии рельсовой колеи проводился по результатам обработки данных проходов мобильных средств диагностики (форма ПУ-32) за период 2016-2019 гг.

На первом этапе анализа укрупненно рассматривались две дистанции пути: от ст. Большой Луг до ст. Байкальск (Слюдянская дистанция), и далее от ст. Байкальск до ст. Тимлюй (Мысовская дистанция).

На Слюдянской дистанции за период с 2016 г. до 2019 г. количество отступлений на 1 пути возросло на 43% (13412 шт. в 2016 г. против 23700 шт. в 2019 г.), на 2 пути на 42% (12262 шт. в 2016 г. против 21073 шт. в 2019 г.) – рисуну 2.11.

На Мысовской дистанции наблюдается обратная картина, количество отступлений снизилось (на 14% на 1 пути – 15913 шт. в 2016 г. против 13630 шт. в 2019 г., на 42% на 2 пути – 23643 шт. в 2016 г. против 13748 шт. в 2019 г.). Это может быть объяснено проведением на отдельных перегонах дистанции масштабных ремонтно-путевых работ.

В удельных значениях динамика роста среднемесячного количества отступлений за период 2016-2019 гг показана на рис. 2.12.

Важно отметить, что на горно-перевальном участке в границах Слюдянской дистанции пути количество отступлений по геометрии рельсовой колеи (ГРК) на 1 «порожном» пути выше, чем на 2 «грузовом» пути.

Причина такой разницы может заключаться в том, что на 2 пути возникает необходимость проведения большего объема ремонтно-путевых работ по устранению отступлений геометрии рельсовой колеи и планово-предупредительной выправке пути.

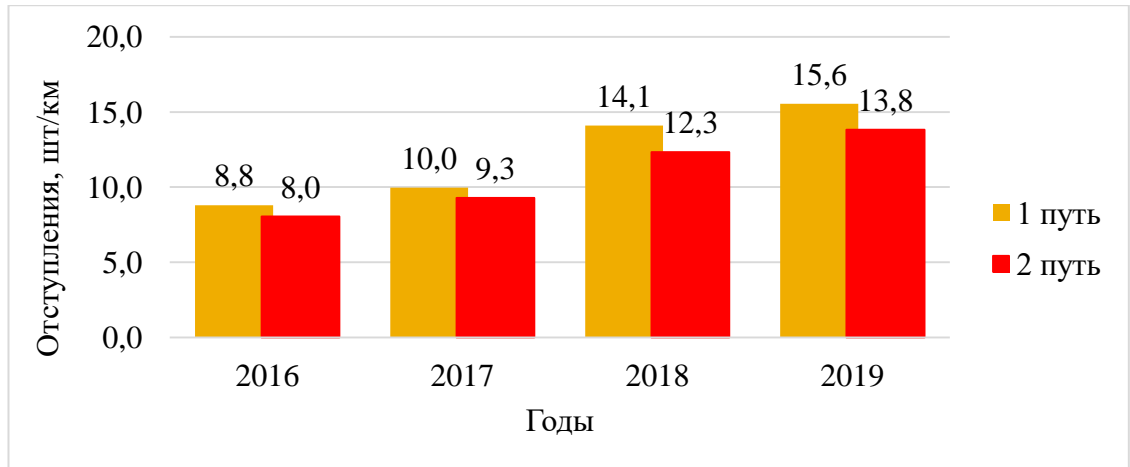


Рисунок 2.11 – Среднемесячное количество отступлений 2 степени (шт/км) на Слюдянской дистанции пути

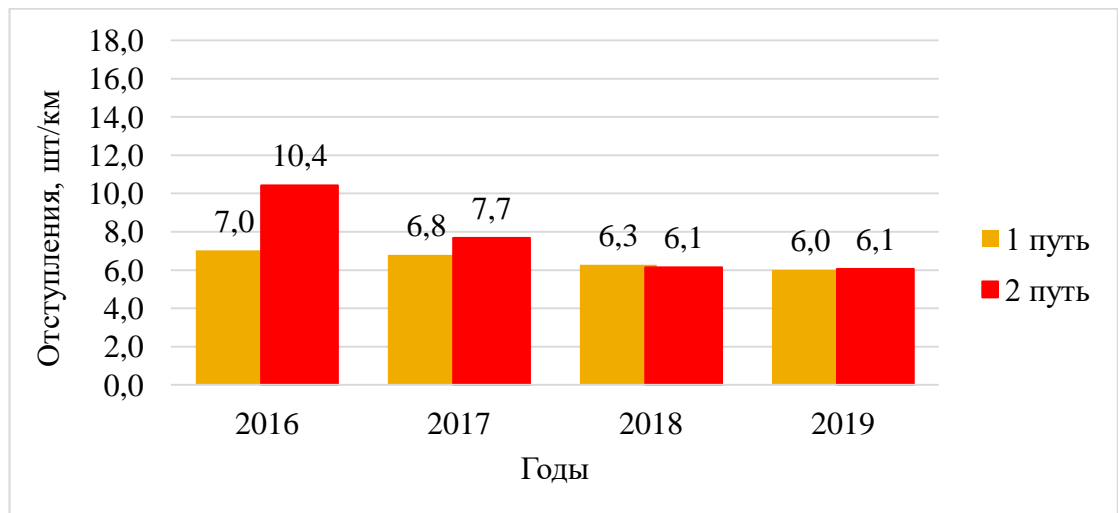


Рисунок 2.12 – Среднемесячное количество отступлений 2 степени (шт/км) на Мысовской дистанции пути

2.3.2 Распределение количества отступлений по типам неисправностей

Рассмотрим детально количество отступлений 2 степени по типам неисправностей, выявленных по данным проходов путеизмерителей на Слюдянской и Мысовской дистанциях в 2019 году.

Для количественной оценки рассчитывалось среднемесячное количество отступлений 2 степени (шт/км) – табл. 2.2.

Расчеты выполнялись с использованием известных формул статистики [26].

Анализ проводился без учета станционных путей.

В границах Слюдянской дистанции пути анализировался только перевальный участок (Б.Луг – Слюдянка).

Таблица 2.2 – Среднемесячное количество отступлений 2 степени по типам неисправностей в 2019 году, шт/км

ПЧ		Типы неисправностей/Количество отступлений 2 степени в месяц, шт/км					
		Ширина колеи	Перекосы	Уровень	Просадки	Рихтовка	Всего
ПЧ-9 (горно-перевальный участок)	1 путь	2,2	4,2	1,0	9,1	2,9	19,3
	2 путь	3,8	4,9	0,8	7,8	1,6	18,9
ПЧ-10	1 путь	0,5	1,8	1,6	1,0	0,8	5,7
	2 путь	0,3	1,9	1,5	1,7	0,4	5,8

Процентное соотношение всех выявленных отступлений представлено на диаграммах – рис. 2.13.

Из приведенных данных следует, что на перевальном участке возникает большее количество неровностей и отступлений геометрии рельсовой колеи, чем на равнинной местности.

Это подтверждает проведенные ранее исследования [27, 28] о том, что на перевальных участках работа локомотивов на максимальных режимах тяги на крутых подъемах, а также применение рекуперативного торможения на спусках дополнительно способствуют возникновению расстройств ГРК. Имеет место и обратная связь - наличие большого количества отступлений в пути приводит к росту сил, действующих на путь со стороны подвижного состава.

По данным ведомостей ПУ-32, в течение 2019 года на Слюдянской дистанции пути было выявлено 120 километров с ограничением скорости из-за неудовлетворительного состояния ГРК (52 километра на 1 пути и 68 километров на 2 пути). На Мысовской дистанции в 3 раза

меньше – 37 километров с ограничением скорости (12 километров на 1 пути и 25 километров на 2 пути).

Для продления сроков службы рельсов и обеспечения безопасности движения, в условиях перевального участка необходима разработка комплекса мер по техническому обслуживанию пути.

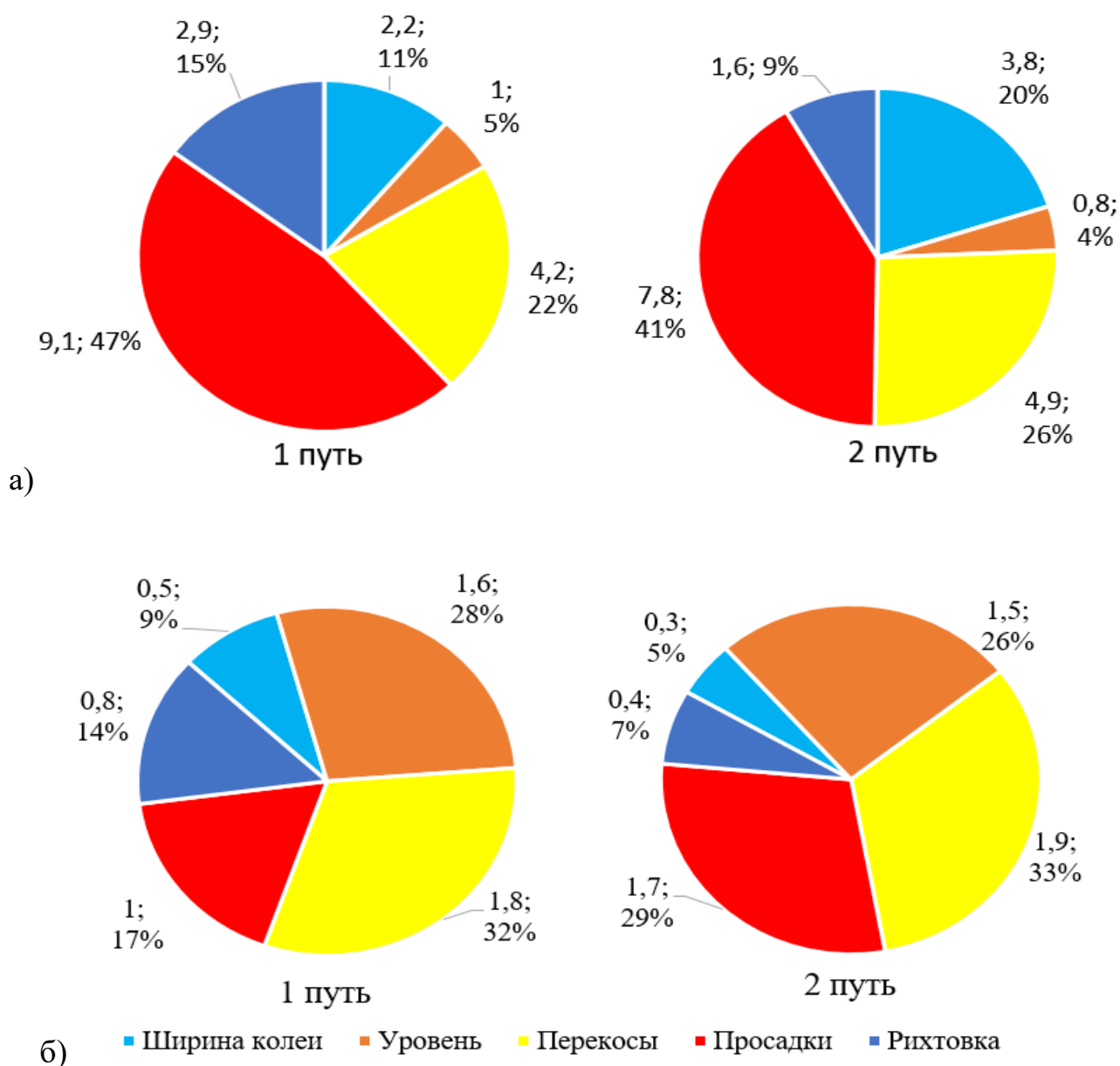


Рисунок 2.13 – Диаграммы распределения отступлений 2 степени по типам неисправностей на а) Слюдянской б) Мысовской дистанциях

2.3.3 Анализ скоростей роста амплитуд неровностей

Для опытных участков была также определена скорость роста амплитуд отступлений по уровню, рихтовке и просадкам (Таблица 2.3) для 2 пути.

Расчет проводился по данным рабочих и контрольных проходов путеизмерителей за период апрель-июль 2021 года, с использованием ведомостей Ф.О2-4.

Таблица 2.3 – Скорости роста амплитуд неровностей на 2 пути, мм/млн т

т

Дистанция пути	Рост отступлений по уровню, мм/млн т		Рост отступлений по рихтовке, мм/млн т		Рост отступлений по просадкам, 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

Из приведенных данных следует, что скорость роста амплитуд неровностей на горно-перевальном участке, как по средним, так и по максимальным значениям значительно выше, чем на равнинных участках.

При этом, интенсивность прироста просадок, как на горно-перевальном, так и на равнинном участке, превышает интенсивность развития неровностей по уровню и рихтовке.

2.3.4 Зависимости количества отступлений от уклона продольного профиля

Профилю пути, в сочетании с кривыми малого радиуса, принадлежит существенная роль в числе внешних факторов, препятствующих движению поезда.

Как показывают исследования [29], в среднем затраты механической работы тяги локомотива на преодоление сопротивления движению грузовых

поездов распределяется следующим образом: 60% — основное сопротивление, 35% — от уклонов профиля пути, 5% — от кривизны пути.

Сопротивление движению поезда от уклона является дополнительным и не зависит от скорости движения поезда и типа подвижного состава.

Общеизвестно, что сопротивление движению поезда от уклона на подъеме тем больше, чем круче величина уклона.

Степень влияния уклона продольного профиля на образование расстройств пути оценивалась с применением методов статистического анализа.

Общая тенденция возникновения расстройств пути на километрах с различными уклонами профиля может быть оценена путем расчета среднего количества отступлений, а степень стабильности пути можно охарактеризовать величиной разброса данных относительно среднего — среднеквадратическим отклонением.

Для получения зависимостей на перевальном и равнинном участках, по данным о количестве отступлений, полученным в предыдущем разделе, были определены показатели среднемесячного количества и среднеквадратического отклонения (СКО) отступлений 2 степени для каждого километра, что позволило сгруппировать полученные данные в зависимости от величины приведенного уклона на километре.

В результате были получены корреляционные зависимости среднемесячного количества отступлений 2 степени на километрах перевального и равнинного участков — рисунки 2.14-2.15. Аналогичным образом были получены зависимости среднеквадратического отклонения отступлений 2 степени на данных участках — рисунки 2.16-2.17.

Чем теснее зависимость указанных параметров между собой, тем выше степень влияния результирующего признака (в данном случае уклона) на качественные признаки (отступления ГРК).

На графиках, представленных ниже, показано, что зависимость среднего количества отступлений от величины уклона на перевальном участке характеризуется величиной коэффициента детерминации R^2 в пределах 0,94 – 0,97, на равнинном участке – 0,57 – 0,67.

Для зависимости среднеквадратического отклонения количества отступлений от уклона профиля коэффициент детерминации R^2 составил: 0,94 – 0,97 для перевального участка, и 0,54 – 0,61 – для равнинного.

Таким образом, можно сказать, что на перевальном участке влияние уклона профиля (и соответствующего ему режима вождения) в большей степени оказывает влияние на изнашиваемость рельсов, чем на равнинной местности.

Что немаловажно, на подъемах при движении локомотивов на запредельных режимах тяги и с применением песка, среднее количество выявленных расстройств выше, а стабильность пути ниже, чем на спусках.

При значительной разнице в грузонапряженности на «порожном» 1 и «грузовом» 2 пути, на большинстве исследуемых километров среднее количество расстройств ГРК на 1 пути оказалось выше, чем на 2: на крутых подъемах (с уклоном $\sim 17\%$) по 1 пути среднее количество отступлений 2 степени 27-29 шт/км, по 2 пути – 17-21 шт/км.

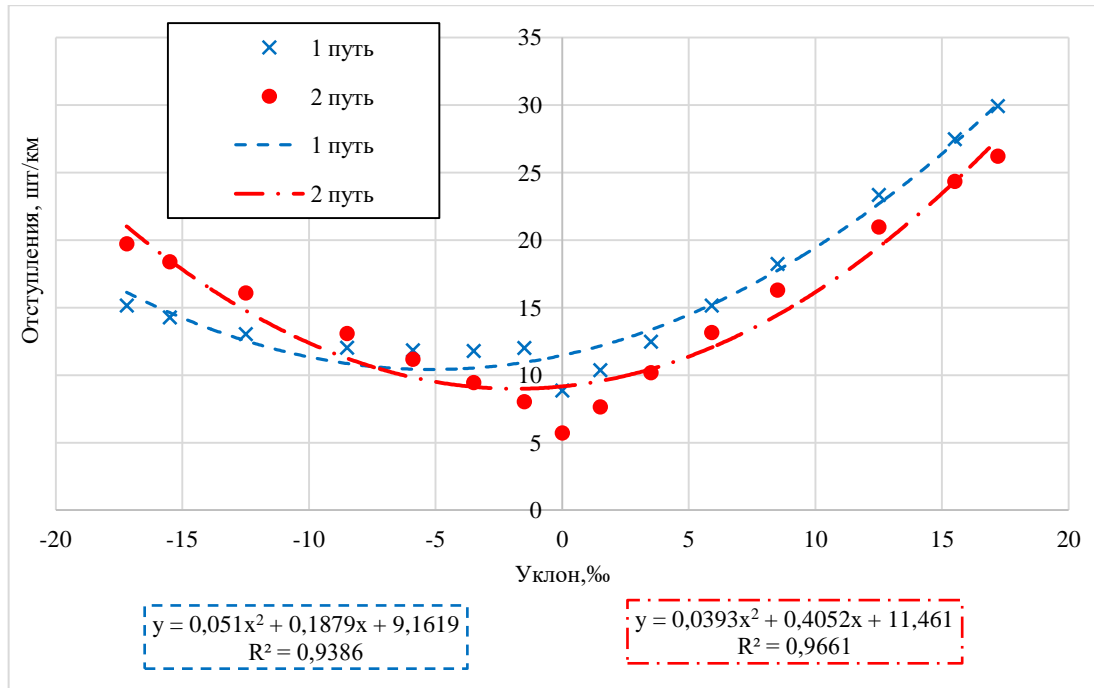


Рисунок 2.14 – Зависимость среднего месячного количества отступлений 2 степени (шт/км) от величины уклона профиля на перевальном участке в 2019 году

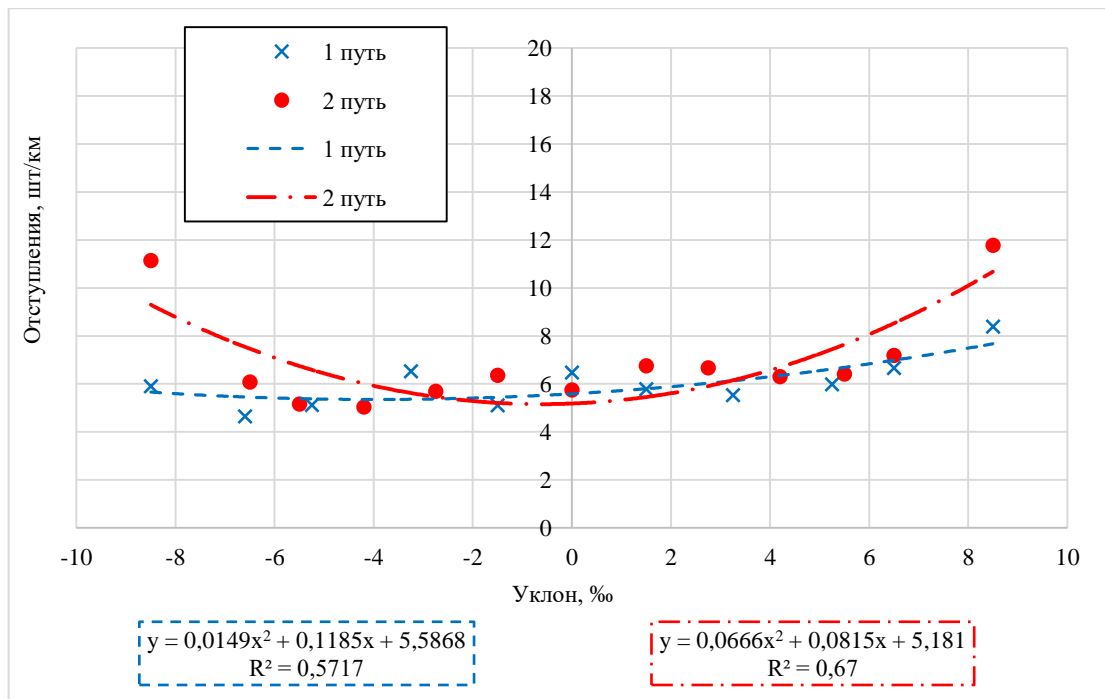


Рисунок 2.15 – Зависимость среднего месячного количества отступлений 2 степени (шт/км) от величины уклона профиля на равнинном участке в 2019 году

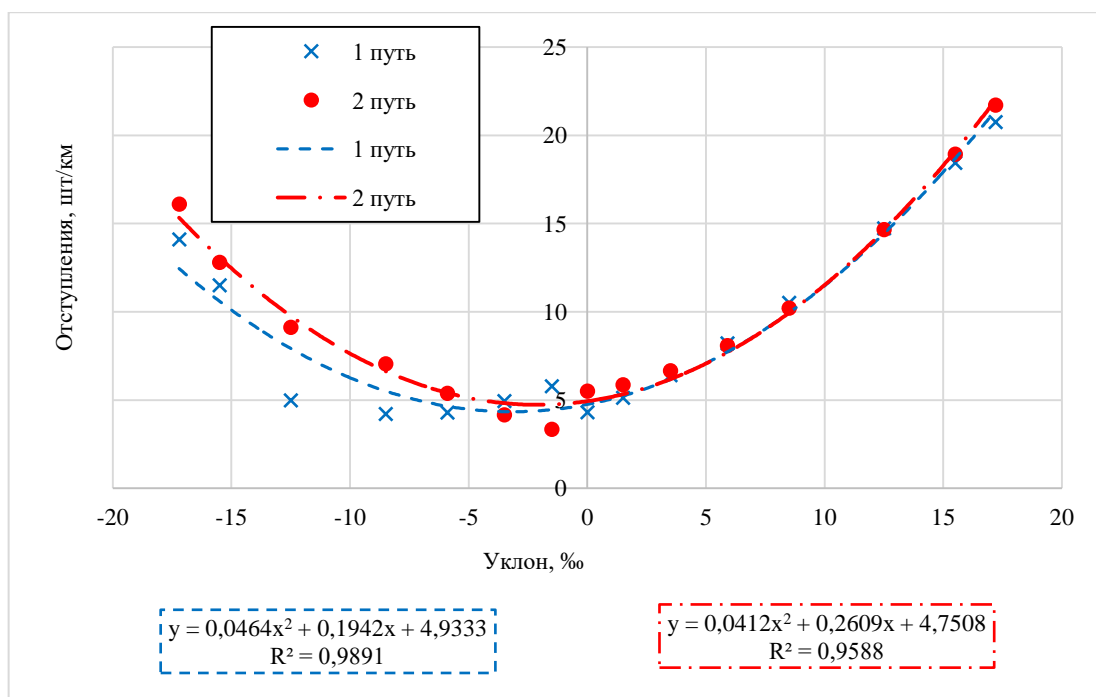


Рисунок 2.16 – Зависимость среднеквадратического отклонения (СКО) количества отступлений 2 степени (шт/км) от величины уклона профиля на перевальном участке в 2019 году

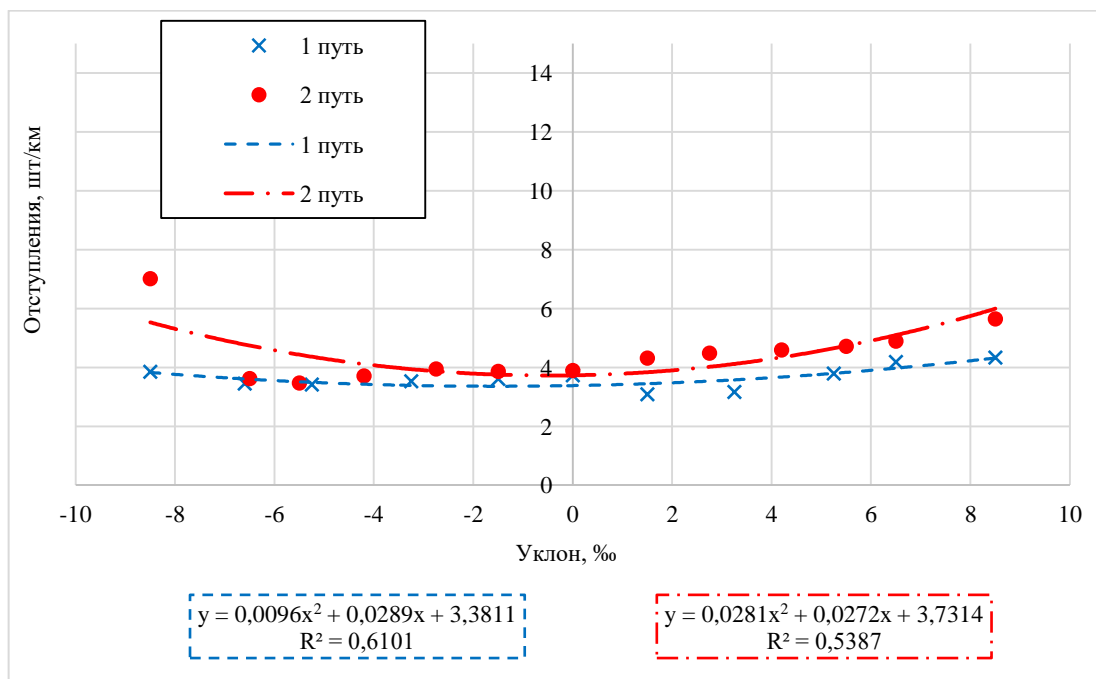


Рисунок 2.17 – Зависимость среднеквадратического отклонения (СКО) количества отступлений 2 степени (шт/км) от величины уклона профиля на равнинном участке в 2019 году

2.3.5 Анализ влияния отступлений в плане на износ рельсов

С использованием результатов проведенной в предыдущих разделах статистической обработки данных проходов путеизмерителей на главных путях Слюдянской и Мысовской дистанций пути в 2019 году были получены диаграммы распределения отступлений в плане на участках подъемов и спусков – рисунок 2.18.

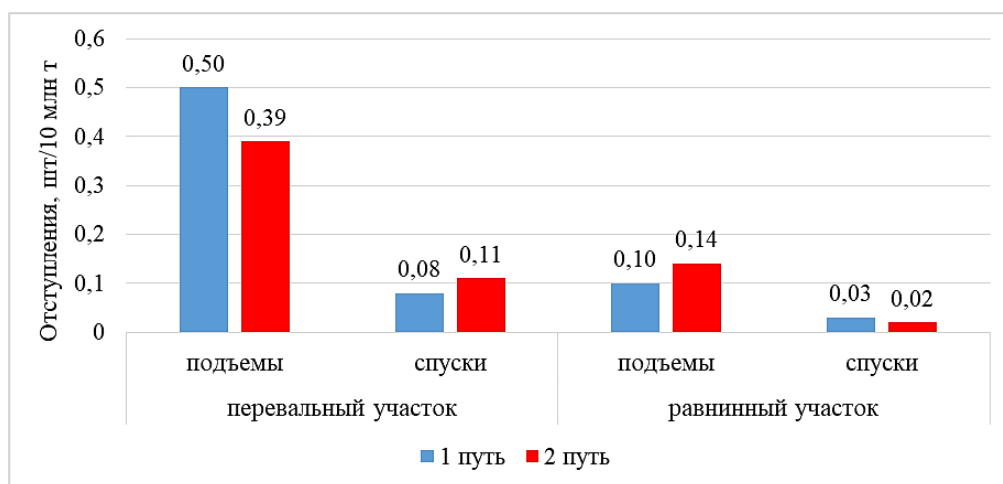


Рисунок 2.18 – Удельное количество отступлений в плане (шт/10 млн т) на перевальном и равнинном участках

Как следует из диаграммы (рисунок 2.18), на каждые 10 млн. т брутто наработанного тоннажа среднее количество отступлений в плане на перевальном участке значительно выше, чем на равнинном участке как на подъемах, так и на спусках.

Значительная интенсивность появления отступлений в плане наблюдается на подъеме 1 пути – 0,5 шт на каждые 10 млн. т брутто, на 2 пути – 0,39 шт. на 10 млн. т брутто, что хорошо согласуется с данными проведенного выше корреляционного анализа.

На диаграммах (рисунки 2.19, 2.20) приведено распределение количества отступлений по рихтовке на каждые 10 млн. т брутто пропущенного тоннажа в зависимости от радиуса кривой.

Как следует из диаграмм, в кривых перевального участка на каждые 10 млн т пропущенного тоннажа возникает почти в 2 раза больше отступлений

по рихтовке. Это приводит к появлению дополнительных воздействий на путь со стороны подвижного состава, и, как следствие, увеличению интенсивности износа рельсов.

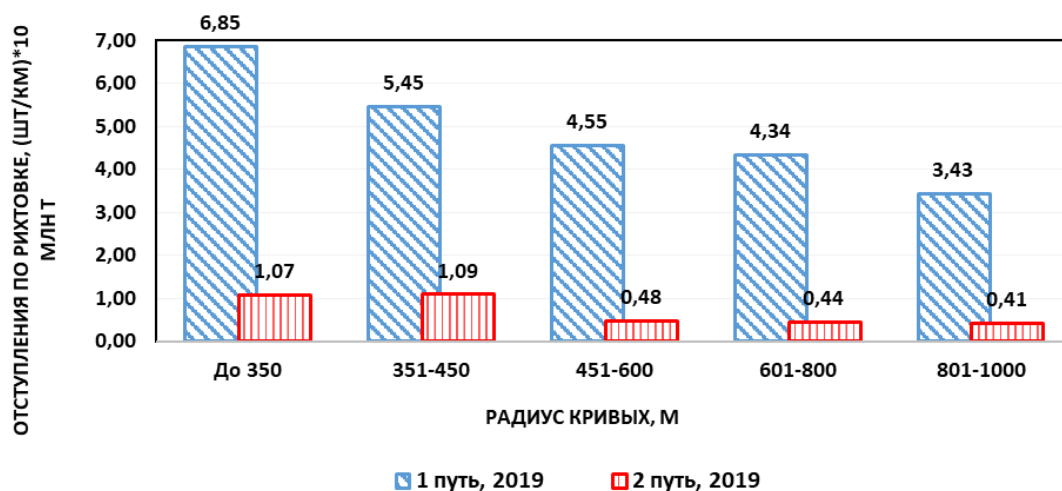


Рисунок 2.19 – Влияние плана линии на возникновение отступлений по рихтовке (шт/км 10 млн т) на перевальном участке

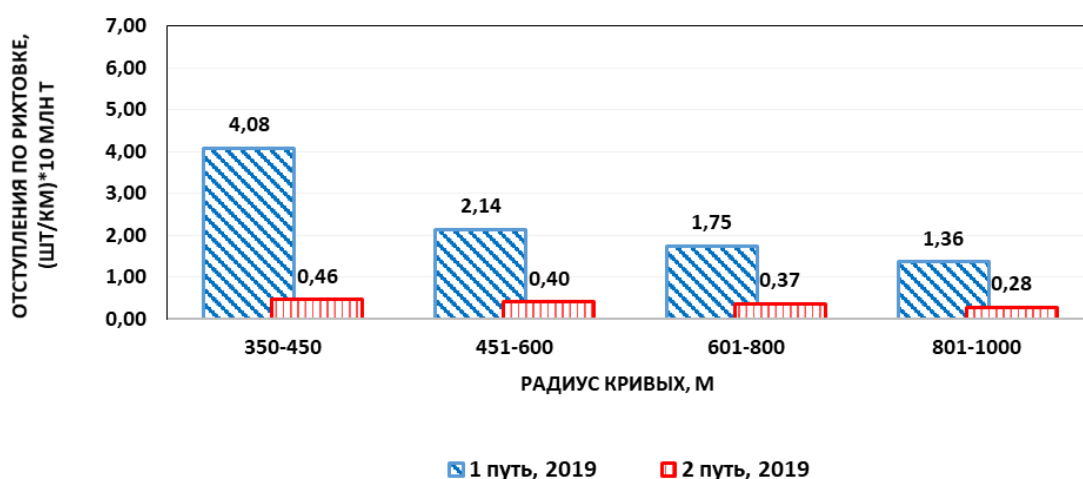


Рисунок 2.20 – Влияние плана линии на возникновение отступлений по рихтовке (шт/км 10 млн т) на равнинном участке

При оценке характера связи между количеством отступлений геометрии рельсовой колеи и износом рельсов, были получены зависимости изменения скорости изнашивания рельсов от количества отступлений по рихтовке в кривых горно-перевального участка для 1 и 2 пути – рисунок 2.21.

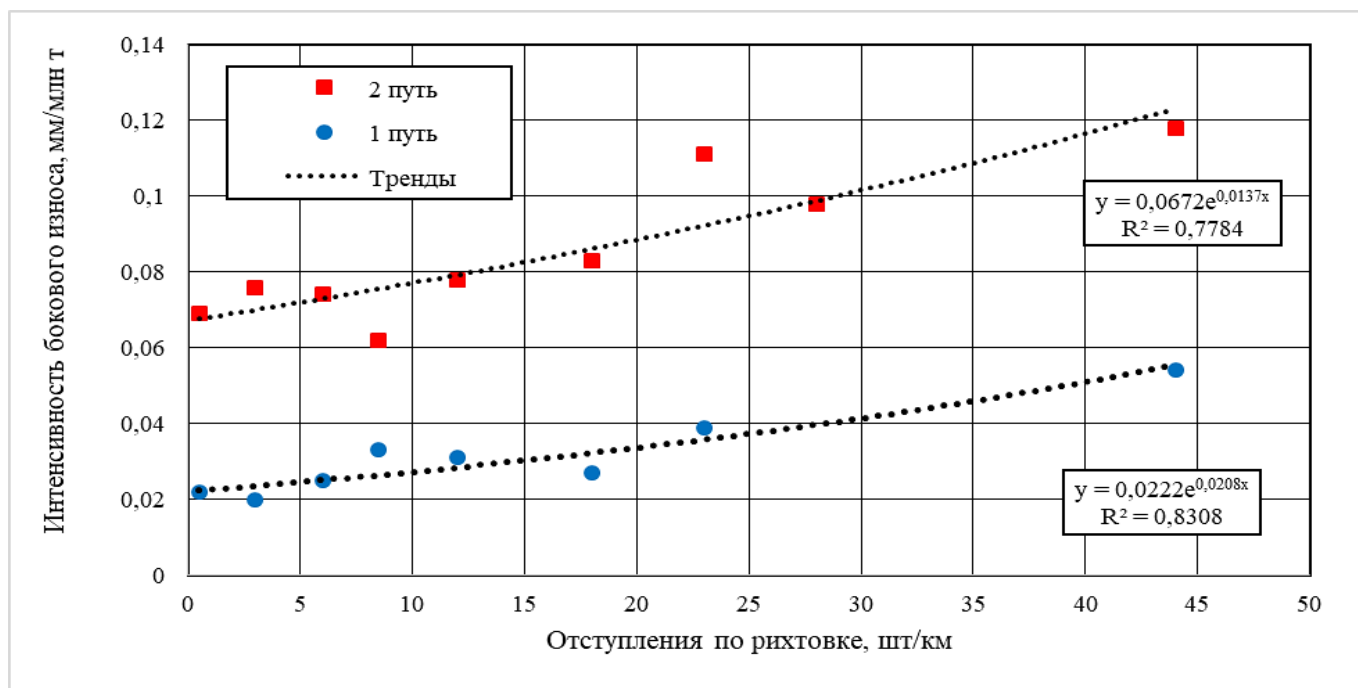


Рисунок 2.21 – Зависимости интенсивности износа рельсов (мм/млн т) от среднемесячного количества отступлений в плане II степени (шт/км) на перевальном участке

Зависимости были получены по данным о состоянии пути и износе рельсов на километрах с количеством отступлений по рихтовке в диапазоне 1 - 50 шт/км и наличием кривых радиуса менее 650 м.

Полученные зависимости характеризуют высокую скорость изнашивания рельсов в кривых «грузового» направления при наличии отступлений в плане. Приведенная зависимость имеет явно выраженный рост при наличии отступлений по рихтовке более 20 шт/км.

Полученные зависимости описаны экспоненциальными функциями с уравнениями:

для 1 пути:

$$y = 0,0222e^{0,0208x}$$

при $R^2 = 0,8308$,

для 2 пути:

$$y = 0,0672e^{0,0137x}$$

при $R^2 = 0,7784$

Таким образом, профилактическое устранение отступлений в плане позволит снизить интенсивность изнашивания рельсов в кривых в 1,5-2 раза, что особенно важно для тяжелых условий эксплуатации на перевале.

2.4 Оценка состояния конструкции пути по результатам анализа выхода элементов верхнего строения пути на горно-перевальном участке

Увеличение грузонапряженности и интенсификации перевозочного процесса на особогрузонапряженных ходах Восточно-Сибирской железной дороги способствует увеличению скорости накопления расстройств элементов верхнего строения пути.

Особый интерес представляет оценка влияния на отказы элементов верхнего строения пути различных сочетаний плана и профиля линии при одинаковой грузонапряженности.

Повышение динамических составляющих при воздействии подвижного состава на путь в условиях горно-перевальных участков оказывает значительное влияние на выход из строя элементов верхнего строения пути, что непосредственно влияет на безопасность движения поездов.

Надежность связей в системе «рельсы-шпалы-балласт» во многом определяет надежность пути в целом.

Как известно, напряжения в элементах верхнего строения пути увеличиваются пропорционально нагрузке, поэтому в целях недопущения возникновения неконтролируемого количества отказов, необходимо поддерживать путь в исправном состоянии и заблаговременно предупреждать развитие неисправностей до предельных значений.

Однако, возможности по проведению дополнительных объемов ремонтно-путевых работ существенно ограничены. На заданном направлении интервалы между поездами чаще всего не превышают 8-12 минут [30, 54]. В таких условиях важна эффективная оптимизация планирования работ по текущему содержанию пути.

2.4.1 Выход рельсов

В настоящее время, одним из критериев назначения капитального ремонта 1-3 уровней, согласно [31, 33], является количество одиночного выхода остродефектных рельсов в сумме за срок службы в среднем на участке ремонта. При этом, количество одиночного выхода остродефектных рельсов, необходимое для проведения ремонта, варьируется в зависимости от класса линии.

Многочисленными исследованиями было установлено, что на работоспособность рельсов в пути оказывают влияние следующие факторы [34, 35, 36, 59]:

- частота приложения нагрузок от подвижного состава;
- величина осевых нагрузок;
- скорости движения грузовых и пассажирских поездов;
- род тяги и тип локомотива;
- план и профиль линии;
- качество металла, из которого изготовлены рельсы;
- технология рельсопрокатного производства;
- неравноупругость подрельсового основания;
- климатические условия и др. факторы.

Повышение дефектности рельсов может быть вызвано увеличением динамических воздействий на путь: осевых нагрузок, изменением конструкции подвижного состава, изменением структуры поездопотока и другими факторами.

Анализ количества отказов рельсов, возникающих в условиях как сложного плана и профиля линии, так и повышенных осевых нагрузок, проводился на перевальном и равнинном участках (Б. Луг – Слюдянка и Балтийск-Тимлюй).

По фактическим данным, полученным с дистанций пути за 3 года (2017, 2018, 2019 гг) были получены диаграммы среднемесячного одиночного

выхода рельсов (шт/км) – рисунок 2.22 а,б. Диаграммы строились по результатам статистической обработки фактических данных.

Анализ одиночного выхода рельсов показал, что на обеих дистанциях на 2 пути, где обращается «тяжелый» подвижной состав, количество отказов рельсов в среднем выше в 2-3 раза, нежели на «порожном» 1 пути.

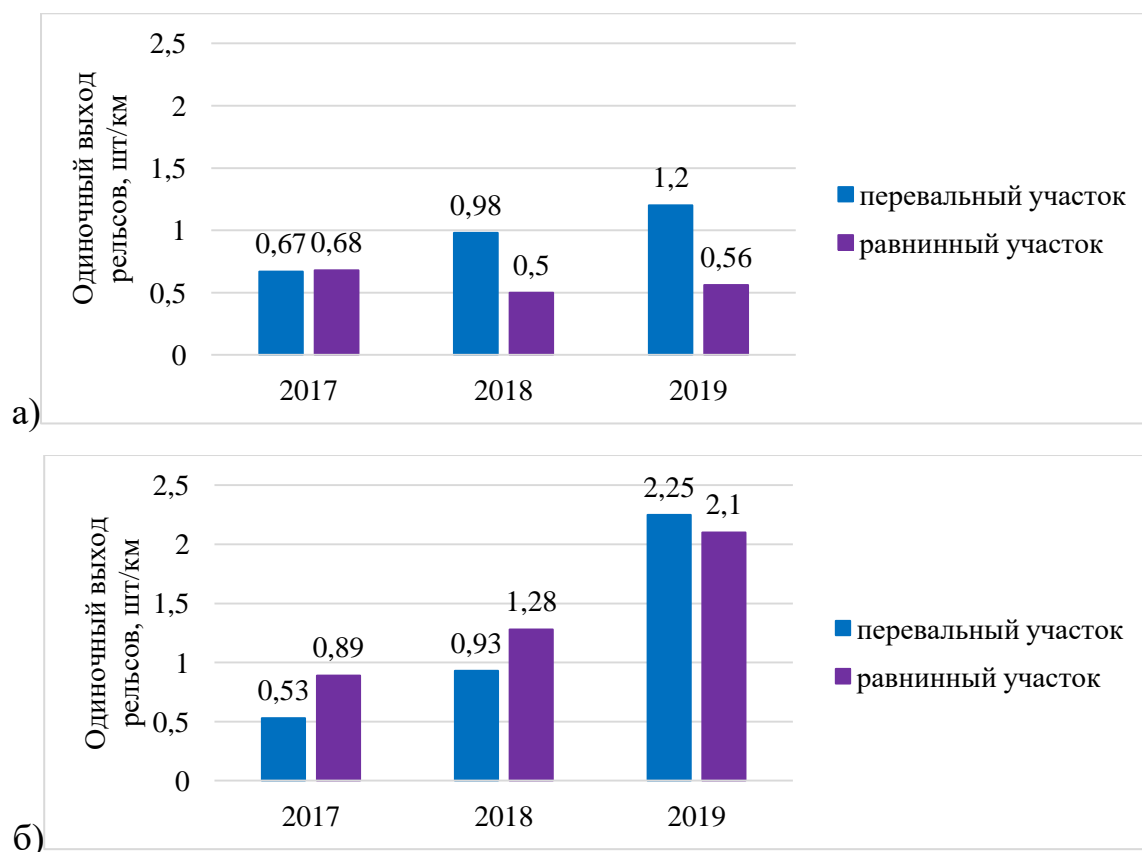


Рисунок 2.22 – Среднемесячный одиночный выход рельсов (шт/км) в дефектные на а) 1 пути б) 2 пути

С использованием данных о фактической наработке тоннажа и количества выявленных остродефектных рельсов (ОДР) с начала укладки, была проведена статистическая обработка массива данных для определения среднего выхода рельсов в остродефектные в границах перевального и равнинного участков.

Результаты расчета средней интенсивности выхода остродефектных рельсов на опытных участках на 1 млн. т пропущенного тоннажа приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Выход остродефектных рельсов (ОДР)

		Выход ОДР за год, шт	Выход ОДР с начала укладки, шт	Средний выход ОДР, шт/км
перевальный участок	1 путь	100	244	0,91
	2 путь	125	263	1,14
равнинный участок	1 путь	66	254	0,39
	2 путь	60	194	0,36

Анализ вышеприведенных данных показал, что выход рельсов как в дефектные, так и остродефектные, преобладает на перевальном участке.

Это вызвано повышенным динамическим воздействием на путь от подвижного состава при движении на максимальной тяге на подъемах, а также при применении рекуперативного торможения на спусках, что приводит к высокой вероятности возникновения в пути дефектных и остродефектных рельсов.

Для установления влияния роста грузонапряженности и осевых нагрузок на повреждаемость рельсов дефектами, был проведен ретроспективный анализ протяженности пути с дефектными рельсами за период 2017-2019 гг на опытных участках – рисунок 2.23 а, б.

Рассматривались участки на перегонах в полных границах Слюдянской и Мысовской дистанций.

За рассмотренные 3 года, протяженность пути с дефектными рельсами на Слюдянской дистанции возросла почти в 5 раз на 1 пути (с 1550 м в 2017 году до 7625 м в 2019 году), и почти в 3 раза на 2 пути (с 2875 м в 2017 году до 8800 м в 2019 году).

Аналогичная тенденция видна в границах Мысовской дистанции: протяженность дефектных рельсов, лежащих на 1 пути увеличилась в 1,4 раза (с 2600 м в 2017 году до 3512 м в 2019 году), и на 2 пути почти в 3 раза (с 2875 м в 2017 году до 9675 м в 2019 году).

Полученная динамика указывает на то, что при дальнейшем увеличении грузонапряженности, в перспективе возможно увеличение дефектности рельсов как на 2 пути, так и на 1 пути.

Высокая частота отказов рельсов на горно-перевальном участке приводит к необходимости увеличения объемов работ по смене рельсов при ремонтах и текущем содержании, что требует разработки критериев планирования работ по дополнительной смене рельсов в кривых для данных условий.

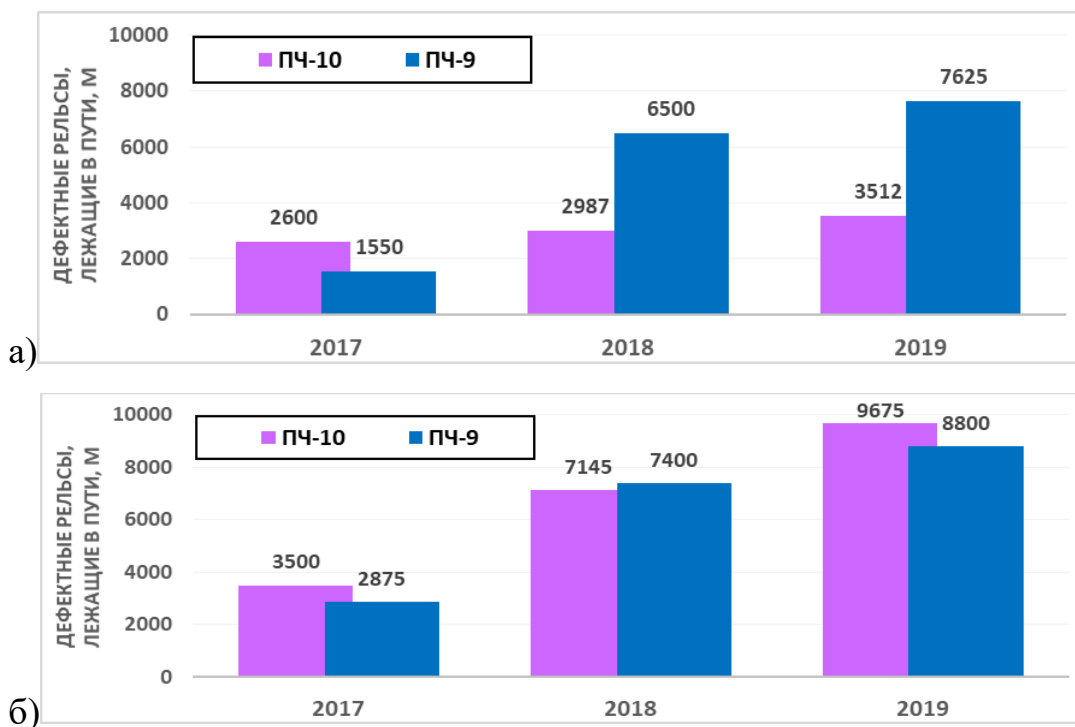


Рисунок 2.23 – Протяженность дефектных рельсов, лежащих в пути (м) на Слюдянской (ПЧ-9) и Мысовской (ПЧ-10) дистанциях

а) 1 путь б) 2 путь

2.4.2 Негодные шпалы и крепления

Процент негодных шпал и элементов креплений на участке является одним из критериев назначения основных видов ремонтов железнодорожного пути, и нормируется согласно классам линии [31].

За период 2017-2019 гг по фактическим данным определялось количество выявленных негодных шпал на перевальном участке и на равнинном участке (Мысовская дистанция). Результаты обработки данных приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Динамика количества выявленных негодных шпал (шт)
за период 2017-2019 гг

	Дистанция пути	Тип подрельсового основания	Количество негодных шпал, шт		
			Годы		
			2017	2018	2019
1 путь	Слюдянская (перевальный участок)	жб	997	1411	3105
		дер	-	-	-
	Мысовская	жб	84	121	165
		дер	5830	3295	3306
2 путь	Слюдянская (перевальный участок)	жб	69	189	299
		дер	-	-	-
	Мысовская	жб	55	78	156
		дер	122	-	-

Значительное количество негодных шпал на 1 пути объясняется практически полным отсутствием «тяжелых» ремонтов за рассматриваемый период (2017-2019 гг). Преобладающий вид работ на 1 пути – планово-предупредительная выправка, шлифовка и смена рельсов в кривых.

На обеих дистанциях наблюдается тенденция к увеличению количества негодных шпал. Особенно это заметно в условиях перевального участка. К 2019 году на участке произошло увеличение количества негодных железобетонных шпал почти в 3 раза. В целом количество негодных железобетонных шпал на перевальном участке выше, чем на равнинном.

Участки с деревянными шпалами на данный момент эксплуатируются на отдельных километрах Мысовской дистанции. Снижению количества негодных деревянных шпал на Мысовской дистанции после 2017 года способствуют работы по замене деревянных шпал на железобетонные.

Отдельным вопросом является определение выбора оптимального типа скрепления для укладки на горно-перевальных участках. Проблема поднималась в ряде работ [37, 38].

Например, в работе [38] экспериментально было установлено, что замена скрепления ЖБР-65 на подкладочное ЖБР-65ПШМ в опытной кривой

радиуса 303 м, позволила практически полностью минимизировать выход шурупов и сократить излом прикрепителей за счет конструктивных особенностей скрепления и наличия подрельсовой подкладки.

При этом одной из основных причин выхода из строя шурупов скрепления ЖБР-65 было названо превышение допусковых значений боковых сил, возникающих при взаимодействии подвижного состава с элементами верхнего строения пути, которые в бесподкладочном скреплении воспринимаются практически одним прикрепителем.

Поэтому, на горно-перевальных участках предпочтительно укладывать промежуточные скрепления, обладающие большим сопротивлением боковым силам, которые достигают значительных величин при движении в кривых на затяжных подъемах и спусках. Применение промежуточных рельсовых скреплений в зависимости от условий эксплуатации автором описано в работе [55].

В настоящее время на главных путях Слюдянской дистанции пути применяются различные типы скреплений:

АРС – безболтовое анкерное (12,875 км);

ЖБР-65 – нераздельное бесподкладочное пружинное (124,53 км);

ЖБР-65П – подкладочное упругое шурупно-дюбельное (0,108 км);

ЖБР-65ПШМ – нераздельное подкладочное пружинное модернизированное (79,94 км);

ЖБР-65Ш – бесподкладочное упругое шурупно-дюбельное (21,113 км);

КБ-65 – раздельное клеммно-болтовое с жесткими клеммами (12,859 км);

ДО – смешанное костыльное (93,821 км).

При этом около 36% составляют скрепления ЖБР-65 и около 24% - ЖБР-65ПШМ, опытная эксплуатация которого началась в 2011 году – рисунок 2.24.

Такое разнообразие модификаций эксплуатируемых промежуточных скреплений типа ЖБР необходимо для оптимизации сокращения выхода

элементов креплений в условиях перевального участка и кривых малого радиуса.

В условиях равнинной местности, как показано на диаграмме (рисунок 2.25), основной процент составляют крепления типа ЖБР-65 (41%) и ЖБР-65Ш (34%). При этом количество применяемых модификаций значительно ниже. Бесподкладочные крепления с упругими клеммами хорошо зарекомендовали себя в более щадящих условиях эксплуатации, нежели на перевальных участках.

По результатам осмотров пути, проводимых дистанциями в 2019 году, проводился расчет среднего процента негодных креплений на участках осмотров. Подобный анализ позволяет оценить количество отказов узлов промежуточных креплений в условиях перевала и на равнине, на путях различной грузонапряженности.

Данные систематизировались в зависимости от типа промежуточного крепления, для 1 и 2 пути – Таблица 2.6.

Таблица 2.6 – 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

Полученный анализ указывает на факт большей повреждаемости узлов креплений на участках с деревянным основанием со креплением ДО и на железобетонном основании со креплением КБ-65. Несмотря на разницу в грузонапряженности, 2 путь содержится лучше, ввиду больших объемов проводимых работ.

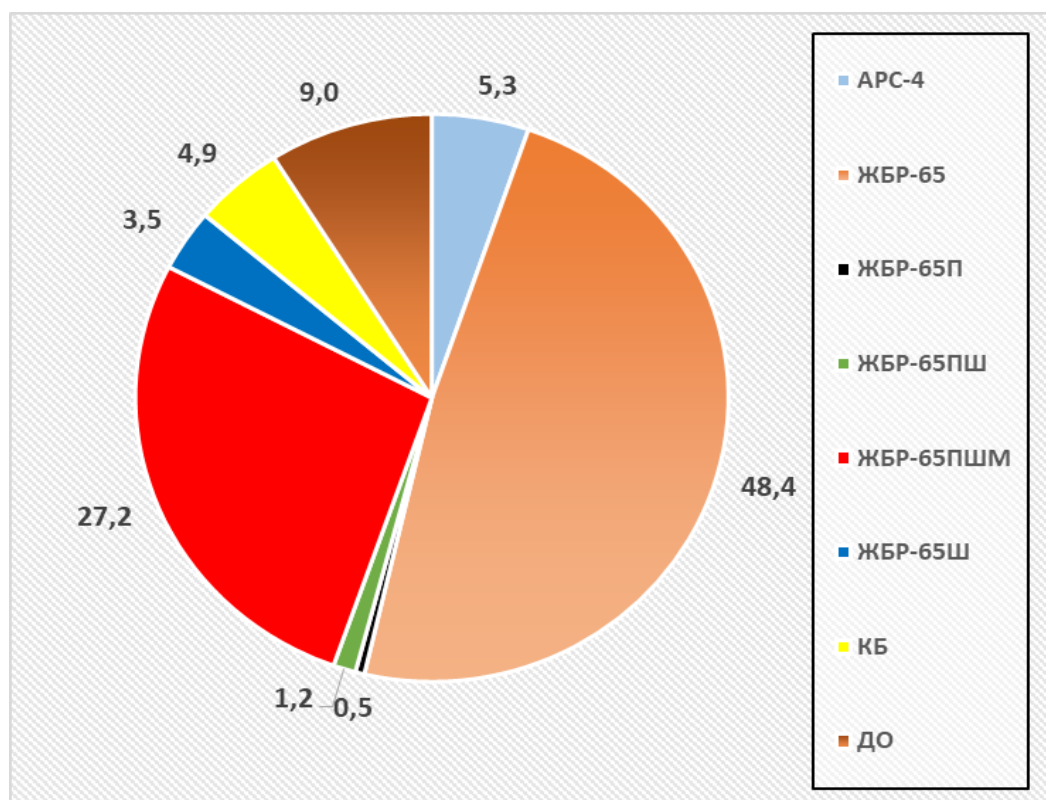


Рисунок 2.24 – Распределение типов промежуточных креплений на Слюдянской дистанции пути в процентном соотношении

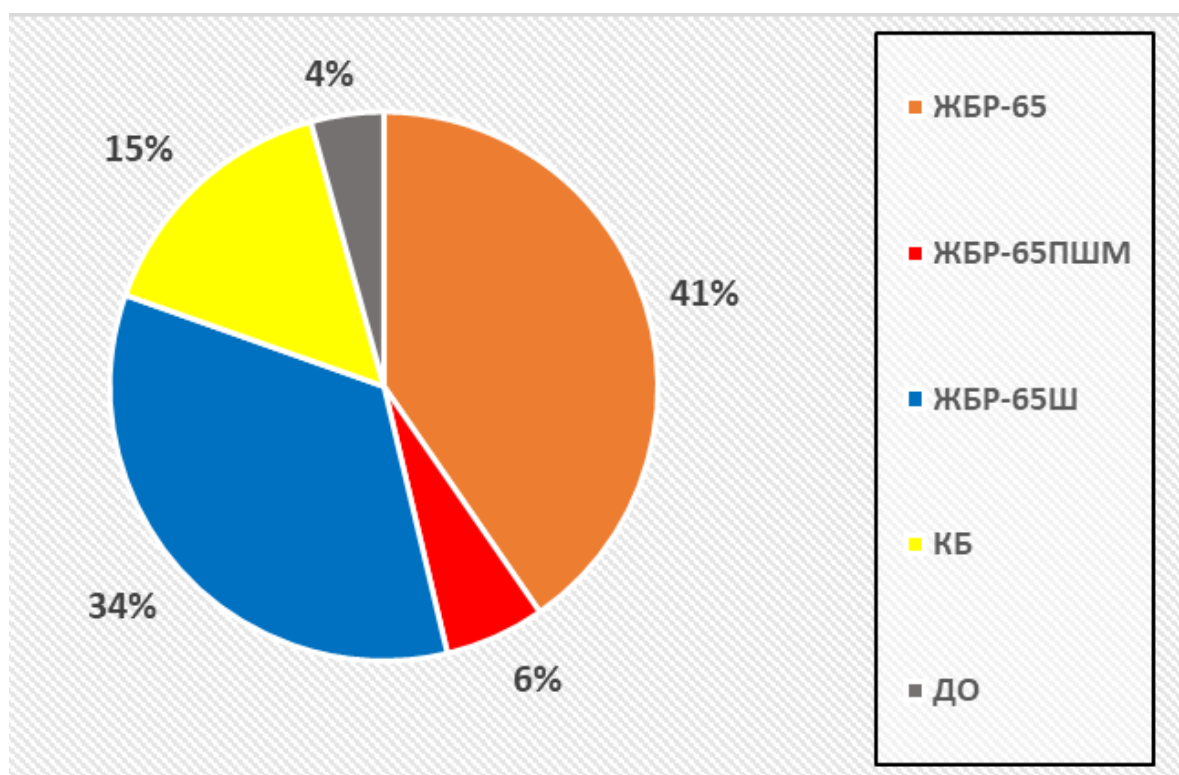


Рисунок 2.25 – Распределение типов промежуточных креплений на Мысовской дистанции пути в процентном соотношении

2.5 Сравнительный анализ потребности в ремонтных работах на опытных дистанциях

В настоящее время периодичность выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки пути нормируется в соответствии с требованиями [31].

Согласно [31], в кривых малого радиуса предусмотрена дополнительная сплошная смена рельсов между ремонтами пути 1 – 3 уровня (КРН, КРС, РС). При радиусе кривой 350 м и менее рельсы дополнительно меняют два раза за межремонтный период эксплуатации, при радиусе кривой 351 – 650 м – один раз.

Однако наблюдения за частотой смены рельсов в границах горно-перевального участка показывают, что на участках сочетания сложного плана и профиля в кривых малого радиуса (менее 350 м) при грузонапряженности свыше 120 млн. ткм брутто/км год, указанной дополнительной смены рельсов за межремонтный период не всегда достаточно. Длительность эксплуатации рельсов в таких кривых, зачастую, не превышает 10-12 мес, а на участках максимальных подъемов и спусков ($i \geq 17\%$) - составляет 6-7 мес (по фактическим данным 2020-2021 года).

Таким образом, разница между нормативной и реально существующей наработкой тоннажа в периоды между сменами рельсов в отдельных случаях, может достигать 63%.

Интерес представляет также частота проведения планово-предупредительной выправки пути (В) на перевальном участке.

Планово-предупредительная выправка пути (В) предназначена для «восстановления равноупругости подшпального основания и уменьшения степени неравномерности отступлений по уровню и в плане, а также просадок железнодорожного пути». (В) представляет из себя комплекс мероприятий по ремонту железнодорожного пути.

Одним из основных критериев назначения планово-предупредительной

выправки пути является наличие в пути отступлений по геометрии рельсовой колеи, выявленных по результатам проходов МСД. Дополнительными критериями являются наличие в пути негодных шпал и узлов скреплений, а также загрязненность балласта.

На основании результатов сравнительного анализа частоты проведения планово-предупредительной выправки пути на Слюдянской и Мысовской дистанциях за период 2017-2019 гг был получен вывод о том, что в условиях перевала частота проведения выправки выше, чем на равнине, что хорошо коррелируется с результатами проведенного ранее сравнительного анализа количества отступлений 2 степени на данных дистанциях. Наличие большого количества отступлений от норм ГРК в границах Слюдянской дистанции пути способствует более частому проведению ремонтно-путевых работ по выправке пути, с частотой до 2-х раз в год на 2 пути – рисунок 2.26.

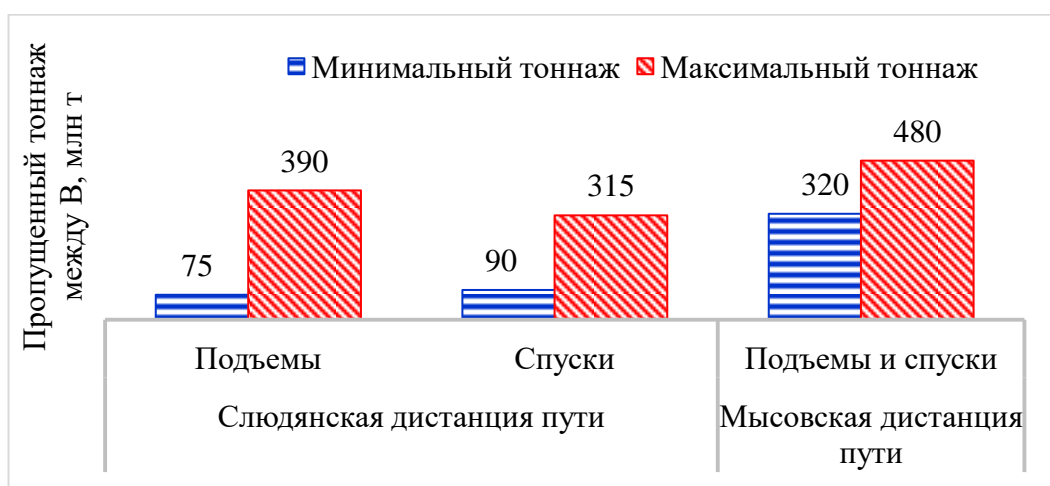


Рисунок 2.26 – Пропущенный тоннаж в период между выправками пути, млн. т брутто в 2017-2019 гг, 2 путь

При стандартной ремонтной схеме КРН-В-С-В-КРН (тоннаж за период между капитальными ремонтами 700 млн т), пропущенный тоннаж между выправками составляет 175 млн. т брутто.

По фактическим данным, выправка на 2 пути перевального участка проводится чаще (на участках максимальных подъемов и спусков через 75/90 млн. т брутто наработки тоннажа, соответственно).

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

Потребность в дополнительных объемах ремонтно-путевых работ указывает на необходимость оптимизации системы текущего содержания пути в условиях горно-перевальных участков и назначения дополнительных смен рельсов.

Выводы по главе

Эксплуатационные наблюдения за состоянием пути на особогрузонапряженных 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, позволили сформулировать следующие выводы:

1. Результаты ретроспективного анализа за период 2010 – 2021 гг по оценке влияния на динамику изменения интенсивности бокового износа рельсов следующих факторов:

- применяемой технологии лубрикации рельсов и периодичности рельсосмазывания;

- структуры поездопотока;

- плана и профиля линии,

показали, 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 пути, 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.

2. Результаты статистического анализа зависимостей величины бокового износа рельсов при наработке тоннажа показали, что в опытных кривых на 2 пути перевального участка величина бокового износа рельсов до 16,5 мм была достигнута при наработке до 200 млн. т брутто, а на равнинном участке, по фактическим данным, боковой износ рельсов не превысил 6 мм.

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.

3. Фактические данные о состоянии геометрии рельсовой колеи на опытных участках, полученные по результатам проходов путеизмерителей, указывают на высокую интенсивность накопления расстройств пути в условиях перевального участка.

Скорость роста амплитуд просядок на 2 пути перевального участка составила 2,33 мм/млн. т, а равнинного – 1,46 мм/млн. т.

4. Установлено, что на подъемах при движении локомотивов на запредельных режимах тяги и с применением песка, среднее количество выявленных расстройств выше, а стабильность пути ниже, чем на спусках.

Полученные зависимости среднемесячного количества и среднеквадратического отклонения отступлений 2 степени от величины уклона профиля позволили установить, что на 2 пути путь менее стабилен, чем на 1, как на подъемах, так и на спусках, что можно объяснить влиянием «тяжелых» поездов и высоких осевых нагрузок.

5. Установлено влияние наличия отступлений в плане на интенсивность изнашивания рельсов в кривых. На перевальном участке высокая скорость роста бокового износа рельсов была выявлена при наличии отступлений по

рихтовке более 20 шт./км в кривых 2 пути.

6. Установлена более высокая интенсивность отказов элементов верхнего строения пути на перевальном участке, по сравнению с равнинным участком:

- выход рельсов в дефектные преобладает на 2 пути перевального участка (до 2,25 шт./км в 2019 году);

- выход рельсов в остродефектные в среднем на перевале в 2 раза выше, чем на равнине: на 1 пути 0,91 шт./км на перевальном участке против 0,39 шт./км на равнинном; на 2 пути 1,41 шт./км на перевальном участке против 0,36 шт./км на равнинном;

- 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.

- 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.

Отмечено преобладание негодных элементов верхнего строения пути на пути с меньшей грузонапряженностью, что указывает на разницу в объемах и видах проводимых ремонтно-путевых работ на 1 и 2 путях.

7. 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%.

8. Проведенные эксплуатационные наблюдения за состоянием пути на опытных участках указывают на необходимость дополнительных смен

рельсов в кривых малого радиуса в условиях перевального участка, а также оптимизации периодичности ремонтно-путевых работ, в виду высокой вероятности возникновения отказов элементов верхнего строения пути.

По условиям работы элементов верхнего строения пути горно-перевальные участки необходимо выделить в *отдельную подгруппу* в категории особогрузонапряженного пути с разработкой специальных мер по организации технического обслуживания пути и определением оптимального типа конструкции верхнего строения пути.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТЫ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ БОКОВОГО ИЗНОСА РЕЛЬСОВ

3.1 Определение влияния осевой нагрузки на интенсивность износа рельсов

Проблемам износа рельсов посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ. Необходимость снижения интенсивности бокового износа в точке контакта колес и рельсов на сегодняшний день остается в фокусе внимания отраслевой науки. Однако в них в недостаточной степени рассматривается вопрос экспериментального подтверждения влияния осевой нагрузки на интенсивность боковых износов колес и рельсов.

В работе [39] отмечается, что интенсивность бокового износа «существенно зависит от кривизны пути, твердости рельсов и осевой нагрузки вагонов». Профессор М.Ф. Вериго в [40] отмечает, что суммарная горизонтальная поперечная сила, действующая на колесо, зависит от величины вертикальной нагрузки колеса на рельс, скорости движения и величины непогашенного ускорения.

Принято считать, что при увеличении вертикальных сил, действующих на головку рельса, пропорционально возрастают поперечные силы вписывания, так как при этом не только увеличиваются центробежные силы в кривых, но соответственно пропорционально вертикальным нагрузкам также увеличиваются поперечные силы трения по головкам рельсов, препятствующие повороту тележки при её движении в кривой. Именно силы трения являются причиной возникновения износа колес и рельсов [41, 58].

В работе [24] при участии автора, было проведено моделирование движения грузового вагона в кривой 350 м на подъем с уклоном 12,8‰ с использованием программного комплекса «Универсальный механизм».

По результатам моделирования было установлено, что поскольку с ростом осевой нагрузки увеличиваются размеры пятна контакта в системе

колесо-рельс, величина удельного давления несколько уменьшается и при одинаковых величинах скоростей проскальзывания степень влияния поперечных сил на износ колес и рельсов возрастает интенсивнее, чем влияние увеличения вертикальной нагрузки [58]. На рисунке 3.1 представлена диаграмма, демонстрирующая рост площади пятна контакта с увеличением осевой нагрузки.

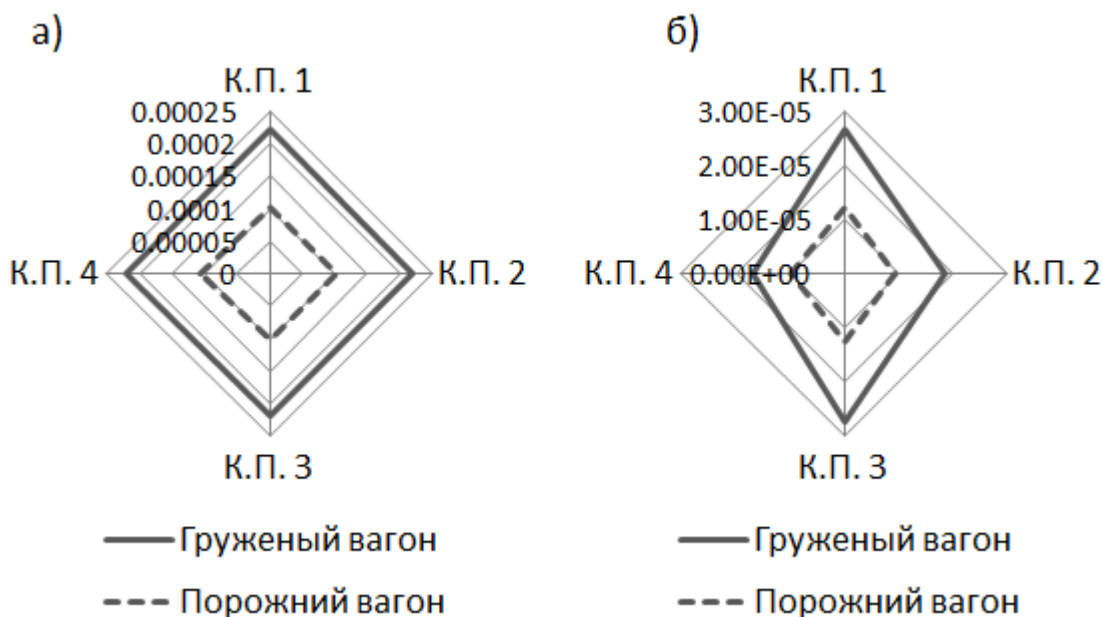


Рисунок 3.1. Площадь пятна контакта для а) первой точки контакта;
б) второй точки контакта

В работе [42] отмечено, что на величины поперечных сил вписывания и, следовательно, на боковой износ рельсов влияет не только поворот тележек в кривых, но и наличие перекосного положения колесных пар в тележке, которое обуславливается допусками на изготовление элементов ходовых частей и их перемещением в зазорах под действием сил трения. К поперечным силам вписывания при повороте тележки в кривой добавляются действие дополнительных сил, от углов набегания колес на рельсы, возникающих вследствие перекоса колесных пар в тележке и, следовательно, в рельсовой колее.

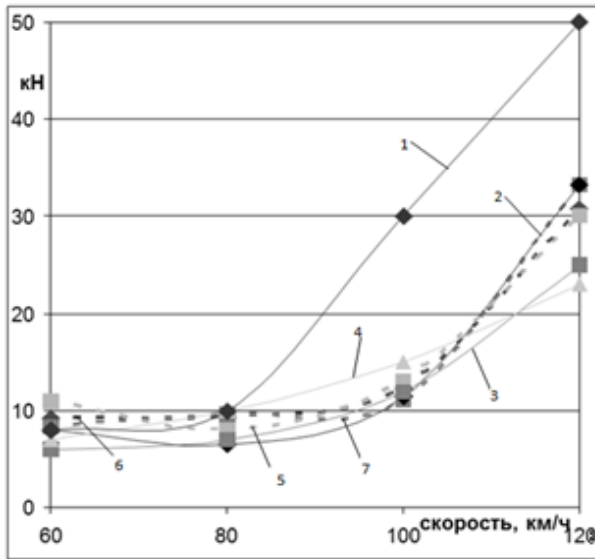
На рисунке 3.2 приведены диапазоны изменения рамных сил в кривых радиусами 350 м и 650 м для порожних вагонов и с нагрузкой порядка

94-100 т, полученные в результате многолетних испытаний на полигоне Белореченская – Майкоп [43]. Все испытанные вагоны полностью удовлетворяли требованиям инструкции по эксплуатации, а путь полигона содержался в хорошем и отличном состоянии. Опыт эксплуатационных испытаний показал, что величины силового взаимодействия подвижного состава и пути имеют определенный разброс относительно своих средних значений, который обуславливается множеством факторов, определяющих движение экипажа с нормируемым разбросом параметров состояния экипажной части. Из приведенных графиков видно, что в кривой радиуса 650 м разброс величин рамных сил для груженных вагонов при скорости 80 км/ч составляет порядка 7 кН (при средней величине 27 кН), а для порожних 2 кН (среднее значение 8 кН). В кривой радиуса 350 м при такой же скорости разброс у груженных составляет 12 кН при среднем значении 32 кН, а для порожних 3 кН (при средней величине 14 кН) [61].

Из приведенных графиков видно, что повышенный уровень динамического воздействия конкретной колесной пары на путь с учетом загрузки связан с техническим состоянием вагона, однако такое изменение бокового воздействия вследствие увеличения перекосов ходовых частей у порожних вагонов с меньшей осевой нагрузкой несколько выше, что в известной мере способствует сходам порожних вагонов.

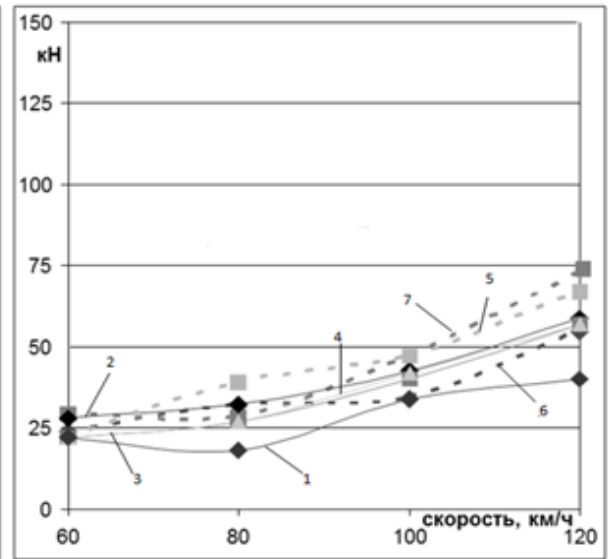
Кривая 650 м

а)



- 1 – 18-100 (2001)
- 2 – 18-100 (2004)
- 3 – 18-100 (2005, модерниз.)
- 4 – 18-100 (2005, эталон)

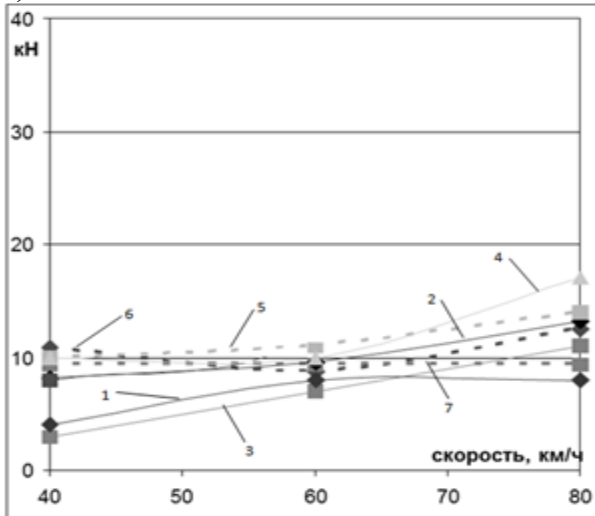
б)



- 5 – 18-578
- 6 – 18-579 (2001)
- 7 – 18-279 (2002, 25 тс)

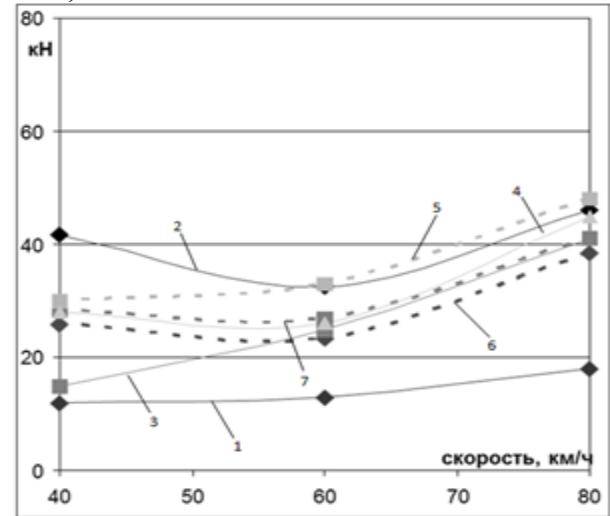
Кривая 350 м

а)



- 1 – 18-100 (2001)
- 2 – 18-100 (2004)
- 3 – 18-100 (2005, модерниз.)
- 4 – 18-100 (2005, эталон)

б)



- 5 – 18-578
- 6 – 18-579 (2001)
- 7 – 18-279 (2002, 25 тс)

Рисунок 3.2 - Рамные силы в кривых экспериментального полигона для вагонов на тележках 18-100

а) порожний вагон 22 т. б) груженный вагон 94-100 т.

3.2 Определение влияния плана пути на интенсивность износа рельсов

Во второй главе диссертационного исследования были рассмотрены две дистанции пути – Слюдянская и Мысовская (ПЧ-9 и ПЧ-10). Различие статистических показателей износа, зарегистрированных по этим дистанциям, демонстрирует зависимость интенсивности износа рельсов от геометрии железнодорожного пути. В этой главе с применением методов имитационного моделирования рассмотрим показатели взаимодействия пути и подвижного состава и интенсивности износа в условиях этих дистанций пути.

Для построения модели в работе использовался программный комплекс «Универсальный механизм» (модули UmLoco и Train3D). При этом для моделирования динамики движения подвижного состава была выбрана модель поезда, состоящая из одномассовых моделей с включенным в середине состава сцепа из трех 3D-моделей грузовых вагонов (на тележках 18-100), что позволило оценить показатели взаимодействия колеса и рельса и износ.

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 (полученной по результатам эксплуатационных наблюдений) и теоретической (полученной по результатам моделирования) интенсивности бокового износа рельсов в условиях Мысовской и Слюдянской дистанций пути (рисунок 3.3).

Сравнение показало, что в условиях горно-перевального участка под действием значительных дополнительных боковых сил, разница между фактическими и теоретическими значениями составляет около 30%, а на

равнине, где силы значительно меньше – около 10 %.

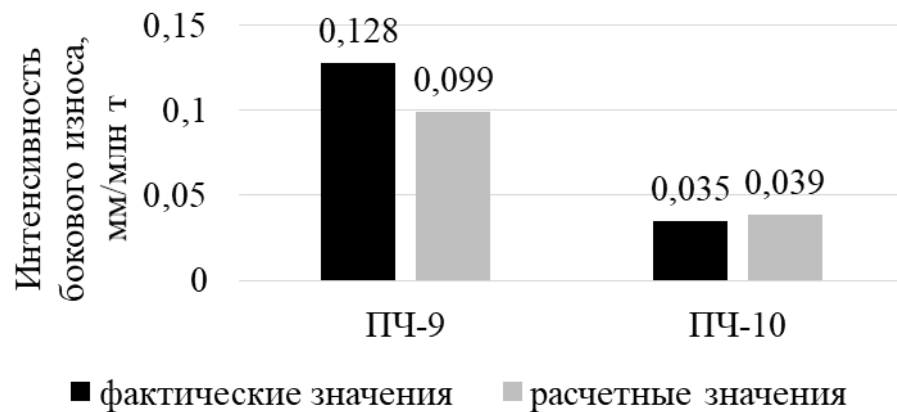


Рисунок 3.3 – Разница между фактической и теоретической величиной интенсивности бокового износа рельсов

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 [61].

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

Так, например, при $\Delta f = 25 \text{ мм}$ – 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 3.4).

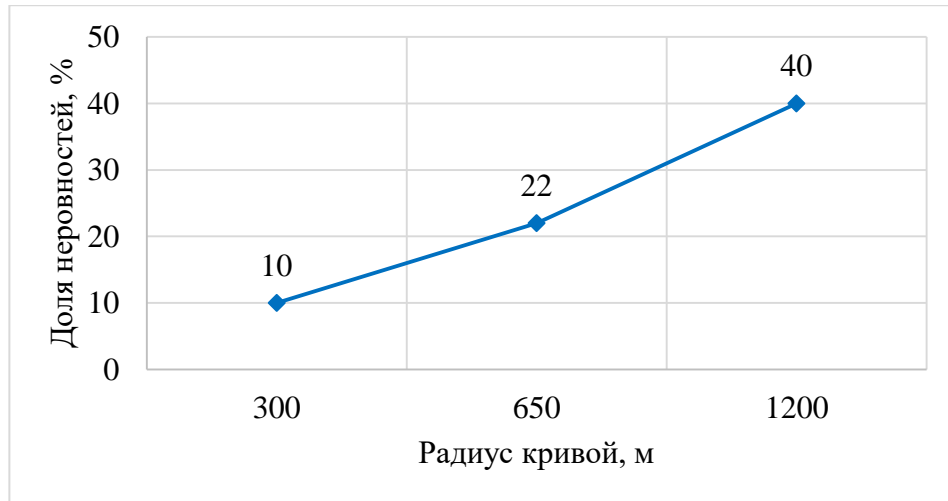


Рисунок 3.6 – Доля неровности в % от основной стрелы изгиба

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.

Выводы по главе

Полученные результаты демонстрируют сложную расчетную зависимость между осевой нагрузкой и интенсивностью износа рельсов. Эта зависимость во многом определяется состоянием подвижного состава и железнодорожного пути, а также условиями их взаимодействия, зависящими от геометрии пути и уровня реализуемой тяги.

В результате расчетов в программном комплексе «Универсальный механизм» показателей взаимодействия пути и подвижного состава в кривых, в том числе на участках пути различного состояния в плане, было установлено:

1. в условиях горно-перевального участка, согласно результатов моделирования, интенсивность бокового износа рельсов составляет 0,099 мм/млн т (при фактической – 0,128 мм/млн т), а в условиях равнинного участка – 0,039 мм/млн т, против 0,035 мм/млн т по фактическим данным. Таким образом, в условиях горно-перевального участка под действием значительных боковых сил разница между фактическими (полученными в результате эксплуатационных наблюдений) и теоретическими (полученными в результате моделирования) значениями интенсивности бокового износа рельсов составляет около 30%, а на равнине, где силы значительно меньше – около 10 %;

2. неровность одной величины по-разному влияет на показатели взаимодействия в зависимости от радиуса кривой;

3. 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 (так, при величине неровности в плане 17 мм, такая неровность составит 10% от основной стрелы изгиба в кривой радиуса 300 м и 40% в кривой радиуса 1200 м). 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.

ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУТИ СО СЛОЖНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ УСЛОВИЯМИ ГОРНО-ПЕРЕВАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

Проведенные эксплуатационные наблюдения за состоянием конструкции пути и интенсивностью нарастания величины бокового износа рельсов на горно-перевальном участке Восточно-Сибирской железной дороги в условиях повышенной грузонапряженности свидетельствуют о необходимости пересмотра и оптимизации существующей периодичности ремонтно-путевых работ.

Ввиду особенностей условий работы пути на перевальном участке возникает необходимость в сокращении интервалов между выполняемыми ремонтно-путевыми работами, что отражается на изменении межремонтных сроков (в сторону уменьшения) по сравнению со среднесетевыми условиями.

По фактическим данным, в виду повышенного динамического воздействия на путь со стороны подвижного состава, на перевальных участках значительно возрастают темпы роста расстройств пути.

Наличие отступлений и неровностей геометрии рельсовой колеи, в сочетании с высокими осевыми нагрузками, являются первопричиной сокращения сроков службы элементов верхнего строения пути, поэтому процессу накопления расстройств пути важно противопоставить процесс *планомерного* текущего содержания пути, которое лучше выполнять с помощью путевых машин в «окна» [49, 52].

4.1 Оценка фактических объемов работ по техническому обслуживанию пути

В соответствии с требованиями существующей нормативной документации [31], периодичность и критерии назначения работ по обновлению верхнего строения железнодорожного пути и

планово-предупредительной выправке нормируются в зависимости от класса пути с учетом его фактического состояния.

При этом, «периодичность выполнения ремонта определяется по наработке тоннажа или продолжительности эксплуатации в годах, определяемых по назначенному ресурсу рельсов».

Учитывается возможность изменения нормативных сроков проведения ремонтов в сторону увеличения или уменьшения до 25% в зависимости от условий эксплуатации.

С учетом опыта эксплуатации пути на перевальном участке Восточно-Сибирской железной дороги, в последние годы возникает необходимость более частого проведения ремонтно-путевых работ, по сравнению со среднесетевыми условиями.

В настоящем разделе проведен анализ потребного количества ремонтно-путевых работ в границах Слюдянской дистанции пути Восточно-Сибирской железной дороги.

На первом этапе выполнялась оценка объемов проведенных ремонтов всех типов с использованием данных ЕК АСУИ за период 2014-2019 гг.

В 2014-2019 гг на сети применялась следующая классификация основных видов работ, согласно Техническим условиям на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути [13]:

- реконструкция (модернизация) железнодорожного пути (код - РК)
- капитальный ремонт пути на новых материалах (код – КРН)
- капитальный ремонт пути на старогодных материалах (код – КРС)
- средний ремонт пути (код – С)
- подъемочный ремонт (код – П)
- планово-предупредительный ремонт (код – В)
- шлифование рельсов (код – Ш)
- сплошная замена рельсов в кривых с боковым износом на новые или

старогодные (код – РИК),

и другие работы, не рассматриваемые в данном анализе.

Протяженность участков в соответствии с классификацией основных видов работ согласно [13] в границах Слюдянской дистанции пути (ПЧ-9) составила – рисунки 4.1, 4.2.

В течение 2019 года на грузовом пути было сменено около 70 км рельсов, прирост по сравнению с 2014 годом составил 73% (в 2014 году было сменено 19 км рельсов). Основной причиной отказов рельсов, как уже было названо, является интенсивное нарастание бокового износа до предельных значений и выше.

На порожнем пути объемы работ по смене рельсов ниже: максимальный объем работ по смене рельсов проводился в 2019 году и составил 18,9 км.

Это можно объяснить тем, что при существующей разнице в грузонапряженности (почти в 3 раза), на 2 пути прирост тоннажа происходит быстрее, поэтому рельсы изнашиваются в течение меньшего срока их эксплуатации.

К основным работам, проводимым на дистанции относятся также планово-предупредительная выправка и шлифовка рельсов.

Средний ремонт со сменой рельсов проводился три раза за рассматриваемый период: два раза на 2 пути и один раз на 1 пути.

Распределение объемов ремонтно-путевых работ, проводимых на обоих путях Слюдянской дистанции пути за период 2014-2019 годы иллюстрирует диаграмма – 4.3.

Основу текущего содержания на дистанции составляют работы по смене рельсов в кривых – 353,32 км (41%), выправке пути – 253,77 км (29%) и шлифовке рельсов – 125,33 км (14%).

За рассматриваемый период капитальный ремонт пути (реконструкция) был проведен на 76,3 км (9%), средний ремонт – на 58,56 км пути (7%).

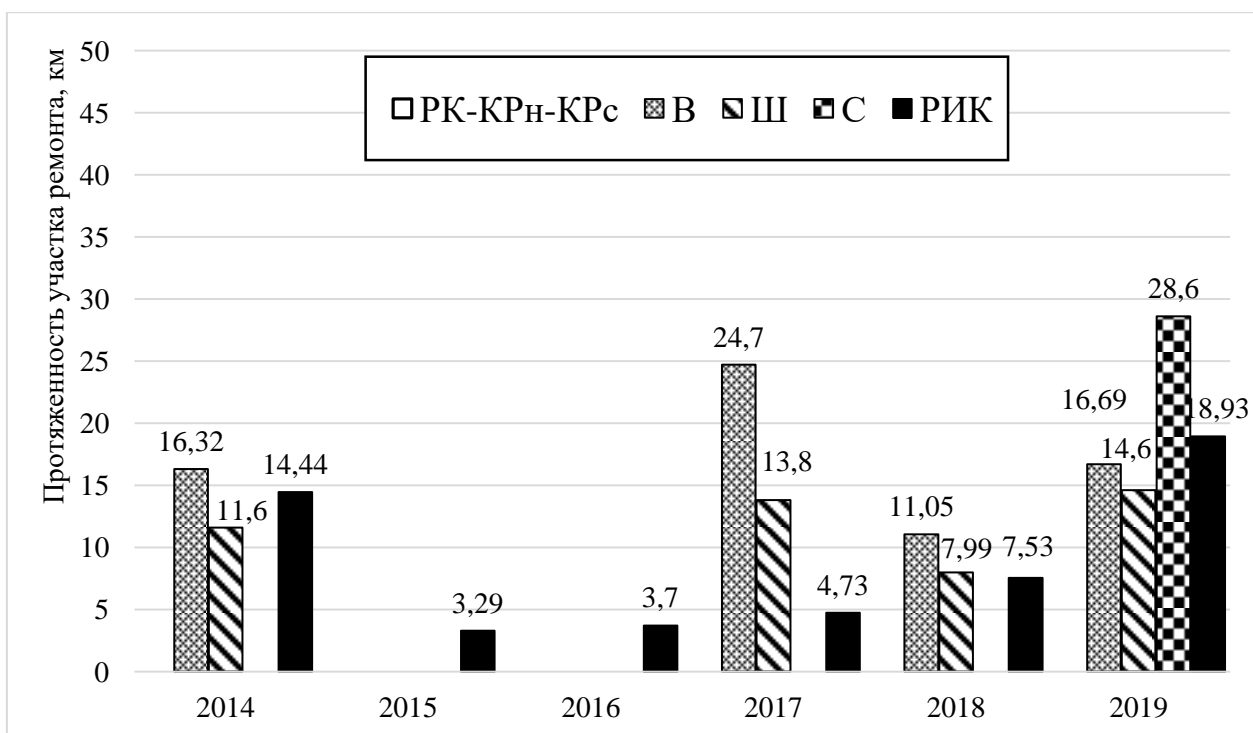


Рисунок 4.1 – Объемы проведенных ремонтно-путевых работ на 1 пути в границах Слюдянской дистанции пути

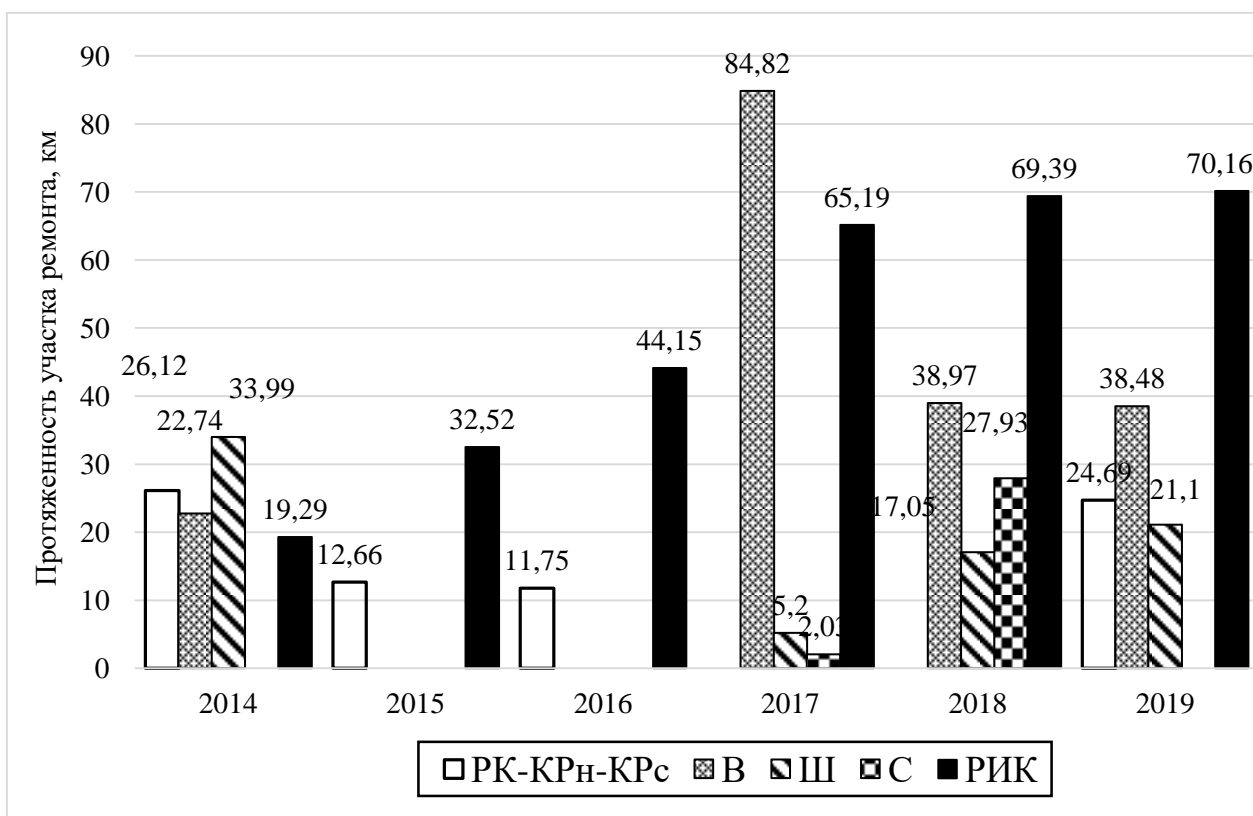


Рисунок 4.2 – Объемы проведенных ремонтно-путевых работ на 2 пути в границах Слюдянской дистанции пути

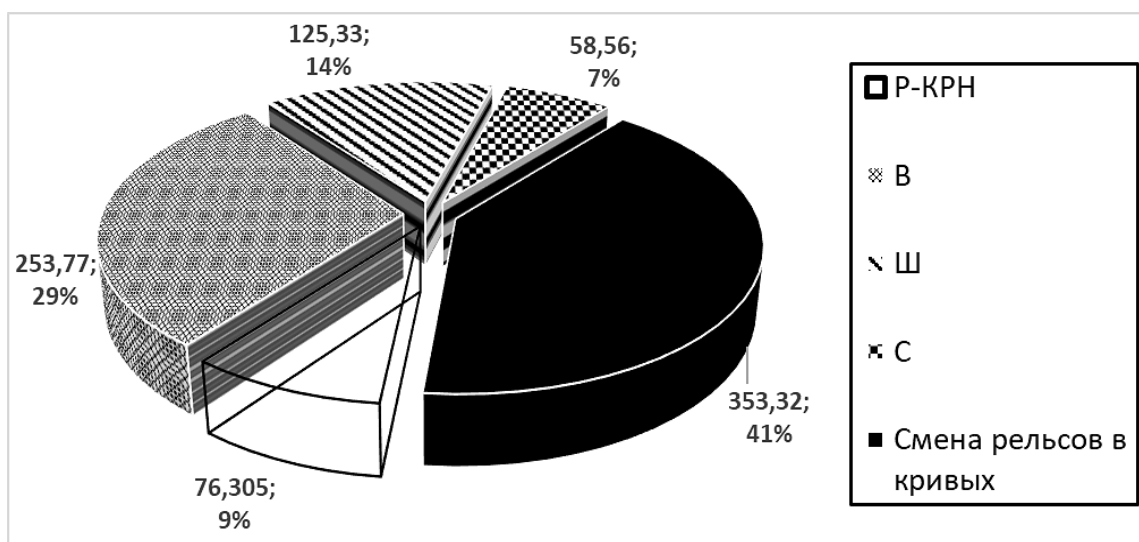


Рисунок 4.3 – Распределение процентного соотношения объемов проведенных ремонтов на Слюдянской дистанции пути в 2014-2019 гг

По данным последних лет в границах Слюдянской дистанции пути (при $R = 290-650$ м и различных сочетаниях профиля) частота смены рельсов в кривых по боковому износу на грузовом пути составляет от 7 до 20 месяцев – рисунок 4.4 – что, при установленной грузонапряженности, соответствует наработке тоннажа около 100-300 млн. т брутто.

При этом на порожнем пути, в кривых такого же радиуса, частота смены рельсов по боковому износу составила от 30 до 90 месяцев, что соответствует в среднем 210-480 млн. т наработки тоннажа.

Если рассматривать период между капитальными ремонтами 1-2 уровня с наработкой тоннажа 700 млн. т брутто, нормируемая периодичность дополнительных смен рельсов для кривых радиуса 350 м и менее должна составлять 233 млн. т брутто (две дополнительные смены), но на 2 пути смены рельсов на ряде кривых проводятся при наработке тоннажа 100 млн. т брутто [60].

Поэтому, на горно-перевальном участке требуется оптимизация порядка назначения дополнительных смен рельсов в кривых с учетом фактического состояния пути.

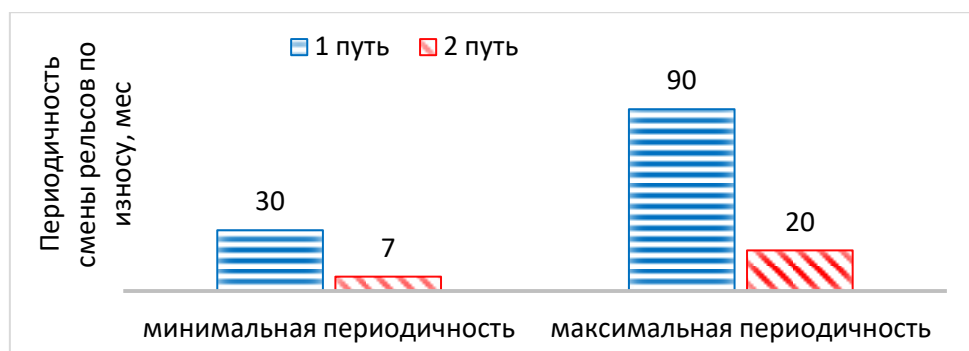


Рисунок 4.4 – Периодичность смены рельсов по боковому износу на горно-перевальном участке в 2017-2019 гг

При указанной частоте смены рельсов в кривых участках, по данным за период 2009-2019 гг (с учетом действующей на тот момент классификации ремонтов) на 2 пути участка подъема Большой Луг – Андриановская были проведены ремонты, согласно схемам:

КРН-ВШ-В-ВШ-КРН (Т~850 млн т)

КРН-Ш-В-ВШ-ВШ-КРН (Т~1000 млн т)

На отдельных километрах:

КРН-В-ВШ-В-В-КРН (Т~850 млн т)

На 2 пути участка спуска Андриановская – Слюдянка ремонты проводились по схемам:

РК-ВШ-В-В-В-РК (Т~850 млн т)

На участке за перевалом (Слюдянка – Байкальск) на 2 пути обеспечивается следующая ремонтная схема:

РК-В-В-СШ-Ш-В-В-РК

Где:

РК – реконструкция;

СШ – средний ремонт со сменой рельсов и шлифовкой (наработка тоннажа перед средним ремонтом составила 736,3 млн. т брутто).

Полученные ремонтные схемы отражают особенности работы пути на горно-перевальных участках, а именно, частое проведение выправок и шлифовок пути, в виду интенсивного развития расстройств геометрии пути и

повреждаемости рельсов [60].

4.2 Рекомендации по оптимизации системы технического обслуживания пути на горно-перевальном участке

4.2.1 Оптимизация порядка назначения выправочных работ

Как отмечал профессор Г.М. Шахуняц, «основной задачей текущего содержания пути является предупреждение появления неисправностей, именно предупреждение, а не устранение, пусть даже и своевременное» [46]. Это означает, что первостепенная роль в системе технического обслуживания пути должна быть выделена профилактике появления расстройств и отказов элементов верхнего строения пути.

В работе [47], при участии автора, было отмечено, что, в настоящее время выправка пути назначается не в профилактических целях, а в целях устранения уже возникших отступлений, т.к. одним из критериев назначения выправки пути является превышение количества отступлений II степени (в основном 25 шт/км за три весенних месяца).

Однако, как профилактическое мероприятие, планово-предупредительная выправка пути в сочетании со шлифовкой рельсов может способствовать продлению жизненного цикла.

Рисунок 4.5 иллюстрирует динамику изменения состояния пути с учетом выправочных работ на участке 2 пути перегона Большой Луг – Подкаменная, с уклоном 16,9‰. Нарботка тоннажа на данном участке составила более 500 млн т. Информация о фактическом состоянии пути была получена по данным проходов вагонов-путеизмерителей в 2017 – 2018 гг. [60].

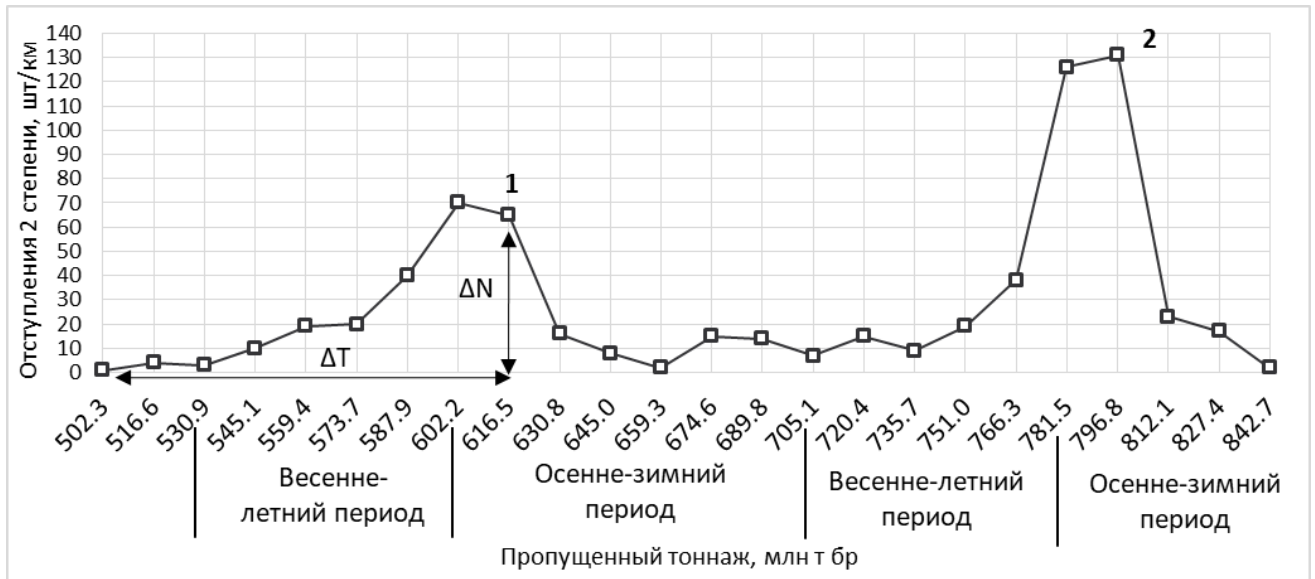
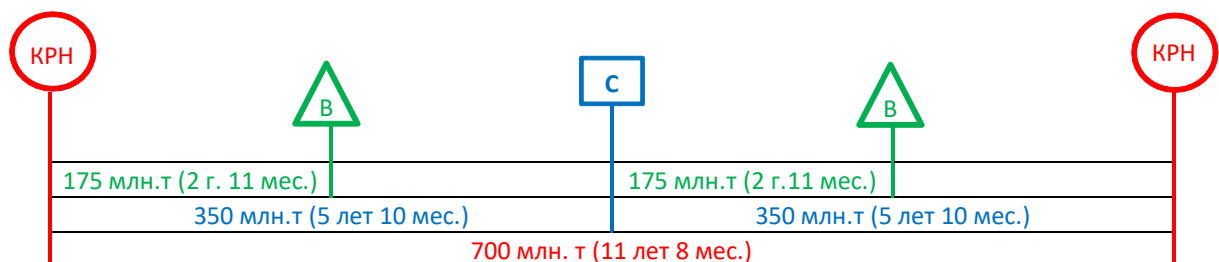


Рисунок 4.5 – Фактическое количество отступлений 2 степени по всем типам неисправностей на опытном участке в течение 2-х лет наблюдений (т. 1,2 – фактическая выправка пути)

Из рисунка 4.5 следует, что интенсивность роста расстройств пути увеличивается в весенне-летние периоды, а также при пропуске тоннажа сверх установленного норматива (свыше 750 млн т).

При участии работы автора, в нормативном документе [32] разработана периодичность выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки пути (ремонтные схемы) (рисунки 4.6 – 4.7.).

а) типовая схема



б) при сокращении межремонтных сроков на 25%

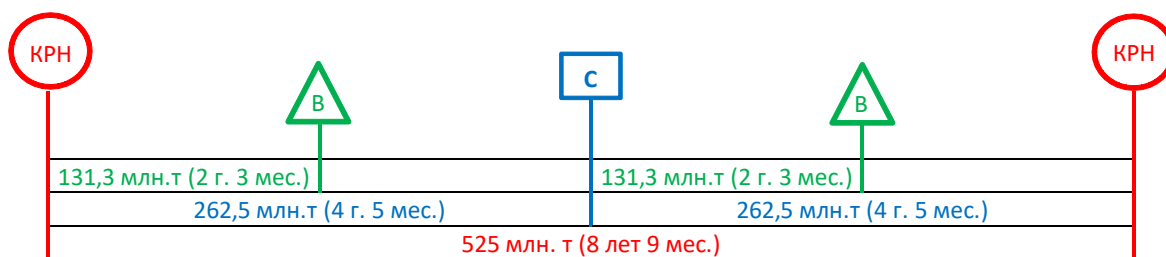
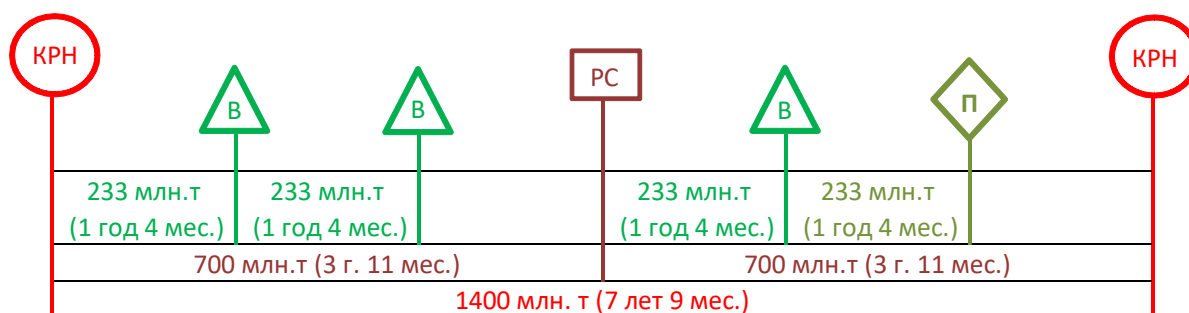


Рисунок 4.6 – Ремонтные схемы горно-перевального участка 1 пути
(грузонапряжённость более 50 до 80 млн.т·км брутто/км в год)

а) типовая схема



б) при сокращении межремонтных сроков на 25%

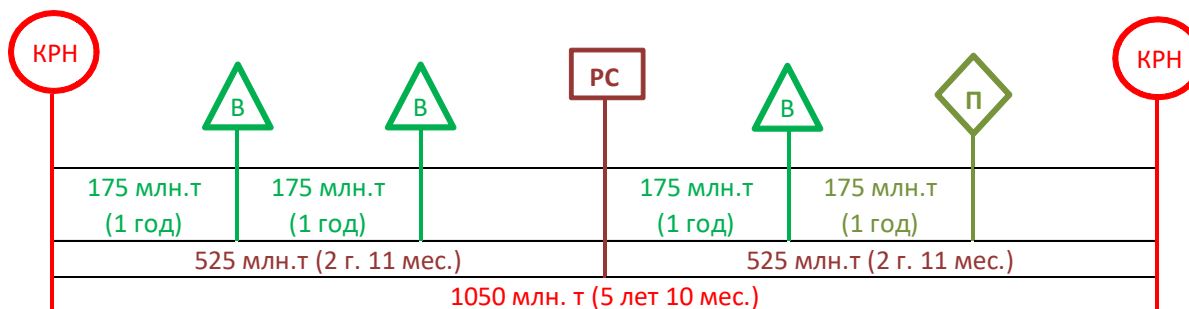


Рисунок 4.7 – Ремонтные схемы горно-перевального участка 2 пути
(грузонапряжённость более 80 до 200 млн.т·км брутто/км в год)

В [32] отражены характеристики горно-перевального участка, условия производства работ, периодичность, объемы, графики производства работ в межремонтный период, перечень подготовительных, основных, заключительных работ.

Работы текущего содержания с применением комплексов машин выполняются в «окна» продолжительностью 4 часа. В неделю предусмотрено два «окна» по 1 пути и три «окна» по 2 пути. Для замены рельсовых плетей с одновременным вводом в оптимальную температуру закрепления и сваркой машиной ПРСМ продолжительность «окна» увеличивается до 6 – 8 часов.

4.2.2 Порядок назначения дополнительных смен рельсов

По результатам исследований и эксплуатационных наблюдений за состоянием пути на горно-перевальных участках, проведенных с участием автора, в нормативную документацию [31] был внесен порядок определения количества внеплановых смен рельсов в период между ремонтами железнодорожного пути 1– 3 уровней (КРН, КРС, РС, РП).

Для среднесетевых условий, согласно [31], предусматривается дополнительная сплошная смена рельсов с периодичностью, приведенной в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Нормативное количество дополнительной сплошной смены рельсов в кривых участках железнодорожного пути

Группа железнодорожного пути	Количество дополнительной сплошной замены рельсов в кривых участках железнодорожного пути в зависимости от радиуса кривой	
	351 – 650 м	350 м и менее
О, I, II	1 раз	2 раза

В условиях горно-перевальных участков количество внеплановых смен рельсов должно определяться исходя из существующей потребности по следующей формуле:

$$n_{вп} = T/t_{см} - N_{норм}, \text{ где}$$

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

$t_{см}$ — 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 брутто;

$N_{\text{норм}}$ – нормативное количество смен рельсов в среднесетевых условиях по таблице 5.2 в [31].

Тогда потребное количество смен рельсов составит:

$$N_{\text{потр}} = N_{\text{норм}} + n_{\text{вп}}$$

Пример 1. На горно-перевальном участке в кривой радиуса 300 м, тоннаж между сменами рельсов в среднем составил $t_{\text{см}}=180$ млн. т; расчетный тоннаж между КРН – 700 млн. т, нормативное количество дополнительных смен $N_{\text{норм}} = 2$.

Тогда $n_{\text{вп}} = 700/180 - 2 = 2$ и всего за период между капитальными ремонтами потребуется $N_{\text{потр}}=2+2=4$ смены.

Пример 2. В равнинных условиях в кривой радиусом 600 м, $T = 700$ млн т; $t_{\text{см}} = 230$ млн. т; $N_{\text{норм}} = 1$, тогда

$$n_{\text{вп}} = 700/230 - 1 = 2 \text{ и всего потребуется } N_{\text{потр}}=1+2=3 \text{ смены.}$$

4.3 Возможности проведения работ по техническому обслуживанию пути на особогрузонапряженных участках

В работе [45] при участии автора, приведены результаты анализа системы организации производства работ в условиях высокой интенсификации перевозочного процесса.

В работе [45] отмечается, что рост объемов перевозок на сети привел к резкому увеличению грузонапряженности на участках, входящих в категорию «О» - особогрузонапряженные. В результате формулировка «более 80 млн т·км груза брутто/км в год», характеризующая категорию «О», подверглась изменению в сторону увеличения грузонапряженности и теперь включает диапазон от 80 до, практически, 200 млн т·км груза брутто/км в год.

Характерной особенностью особогрузонапряженных участков является

нарушение регламентных сроков проведения ремонтных работ. В этих условиях требуется существенная дифференциация порядка технического обслуживания пути, так как сочетание нарушения сроков ремонтов с недостаточным объемом работ по текущему содержанию может привести к ускорению деградации пути, угрожающему безопасности движения. В связи с этим в первую очередь необходимо определиться с возможностью выполнения работ текущего содержания пути в условиях интенсивного движения поездов.

4.3.1 Определение суммарного эффективного времени на проведение работ

Затраты времени на техническое обслуживание пути (ТО) состоят из двух составляющих [45]:

затрат времени на выполнение плановых работ;

затрат времени на устранение возникших нештатных ситуаций, угрожающих безопасности движения.

Как указывал доктор технических наук В.Б. Каменский [48], работы по техническому обслуживанию пути делятся на три группы.

К I группе относятся работы, полезное время которых определяется минимальным объемом, выполняемым за один прием: выправка пути в плане и профиле; регулировка ширины колеи и зазоров; смена шпал, накладок, переборка изолирующих стыков.

Коротких интервалов между поездами недостаточно для проведения перечисленных работ, поскольку в этих условиях возникает многократная повторяемость их развертывания и свертывания и, в результате, уменьшается доля полезного времени.

Ко II группе относятся работы, выполнение которых можно прервать в любой момент без существенных потерь времени на развертывание и

свертывание. К ним можно отнести закрепление болтов, добивку костылей, ликвидацию выплесков, оправку балластной призмы, очистку полотна и т.п.

К III группе относятся работы, выполнение которых связано с закрытием движения поездов или требует фиксированного технологического перерыва. К ним можно отнести одиночную смену рельсов, восстановление целостности рельсовых плетей и ввод их в оптимальный температурный режим и т.п.

Сразу следует отметить, что большая часть работ, выполняемых при текущем содержании пути, относится к I группе.

Принимая в качестве теоретической функции распределения продолжительности интервалов между поездами экспоненциальную функцию [48], можно вывести выражения для суммарного эффективного времени на проведение работ:

для I группы

$$T_{эфI} = 0,8 \left(\frac{1}{\lambda} - 0,092 \right) n e^{-0,035\lambda} ;$$

для II группы

$$T_{эфII} = 0,8 \left(\frac{1}{\lambda} - 0,023 \right) n e^{-0,03\lambda} ,$$

где λ – плотность совокупного потока поездов по обоим путям, поездов/ч;

n – число поездов совокупного потока, пропускаемых за время ведения путевых работ, поездов/смену

По полученным выражениям в работе [48] приведена таблица с результатами расчетов. По данным упомянутой таблицы были построены зависимости суммарного эффективного времени от плотности совокупного потока по обоим путям (λ) для работ I и II групп (рисунок 4.8).

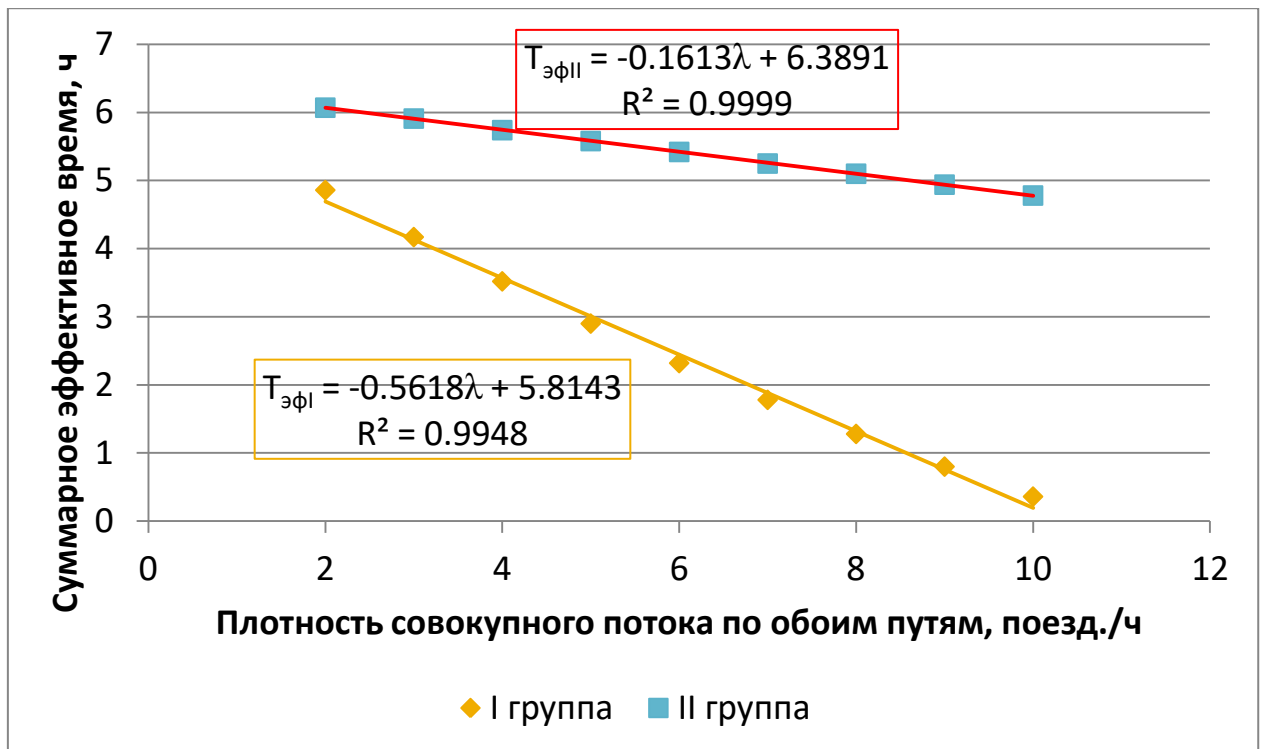


Рисунок 4.8 – Зависимость суммарного эффективного времени на выполнение путевых работ от плотности совокупного потока по обоим путям

Из рисунка 4.8 видно, что зависимости суммарного эффективного времени от плотности совокупного потока по обоим путям хорошо описываются линейными функциями. При этом с ростом плотности совокупного потока суммарное эффективное время закономерно уменьшается. Это снижение особенно характерно для работ I группы, наиболее распространенных при текущем содержании пути. При плотности потока свыше 8 поездов/ч эффективное время на выполнение путевых работ стремится к нулю.

Остается сделать очевидный вывод, что при фактической плотности совокупного потока по обоим путям свыше 8 поездов/ч выполнять работы по текущему содержанию пути возможно только при наличии «окон». Следовательно, техническое обслуживание пути на линиях категории «О» должно выполняться в технологические «окна». При этом возникает вопрос:

какой продолжительности, и в каком количестве необходимы и могут быть предоставлены «окна»?

4.3.2 Расчет возможной продолжительности «окна»

В работе [45] приведены результаты расчетов пропускной способности двухпутного участка в условиях особогрузонапряженных линий.

В настоящее время пропускная способность двухпутного участка определяется (для одного пути) по формуле

$$n = \frac{(1440 - t_{\text{окна}})k}{t}, \quad (4.1)$$

где 1440 – число минут в сутках;

$t_{\text{окна}}$ – продолжительность «окна», мин;

k – коэффициент запаса;

t – интервал между поездами, мин.

Результат представляет собой пропускную способность в расчете на сутки.

При интенсивном движении поездов короткие «окна» оказываются недостаточно эффективными, так как при одинаковом времени на развертывание и свертывание работ чистое время на полезное действие получается непропорционально маленьким. В этих условиях целесообразно рассматривать работы на широком фронте в большое четырехчасовое «окно» с использованием возможностей современных высокопроизводительных выправочных машин.

В этом случае рабочая пропускная способность в недельном цикле из расчета предоставления «окон» по 4 часа, определяется по формуле

$$n = \frac{(1440 \cdot 6 - 4 * 60m)k}{t}, \quad (4.2)$$

где 6 – число дней в неделе;

$4*60$ – продолжительность окна, мин;

m – количество «окон» в неделю.

Количество «окон» в неделю в первом приближении может быть определено по таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Количество «окон» на участках с различной грузонапряженностью

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

4.3.3 Определение затрат времени на устранение нештатных ситуаций, угрожающих безопасности движения

Возможные нештатные ситуации являются случайной величиной, опосредованно зависящей от наработки тоннажа и условий эксплуатации. Для конкретного участка линии их примерное количество можно определить на основе статистических данных с учётом прогноза изменения условий эксплуатации.

По данным ОАО «РЖД», на сети в 2020 г. произошло 247339 отказов технических средств. Наибольшее их количество зафиксировано на Московской дороге – 38184 (15%), а также на дорогах Восточного полигона с высокой грузонапряженностью - Забайкальской – 34238 (13,8%) и Восточно-Сибирской – 24794 (10%).

Основные причины отказов на сети в 2020 г. распределились следующим образом (рисунок 4.9): неудовлетворительное содержание рельсовой колеи – 62,4%, остродефектные (ОДР) и дефектные рельсы – 19,9%, сверхнормативные зазоры в стыках – 11,7%.



Рисунок 4.9 - Причины отказов технических средств в 2020 г. на сети железных дорог

На устранение неожиданных отказов необходимо дополнительное время, не предусмотренное графиком движения поездов. Это приводит к образованию задержек, нарушению графика и негативно отражается на динамике перевозочного процесса, что особенно неблагоприятно сказывается на участках с высокой грузонапряженностью и интенсивностью движения.

Рассмотрим перспективы возникновения отказов в существующих условиях на примере роста количества дефектных рельсов, лежащих в пути. Анализ статистических данных показывает, что с 2018 г. наблюдается ежегодный прирост дефектности рельсов, что может быть вызвано усложняющимися условиями эксплуатации: увеличением объемов перевозок и расширением полигона обращения тяжеловесных поездов и инновационных вагонов с осевой нагрузкой 25 тс.

Анализ количества дефектных рельсов на сети железных дорог показал, что при сохранении системы организации технического обслуживания пути 2021 года, в перспективе можно ожидать увеличения дефектности на сети

дорог, т.к. в первой половине 2022 года количество дефектных рельсов уже превысило показатель 2020 года – рисунок 4.10.

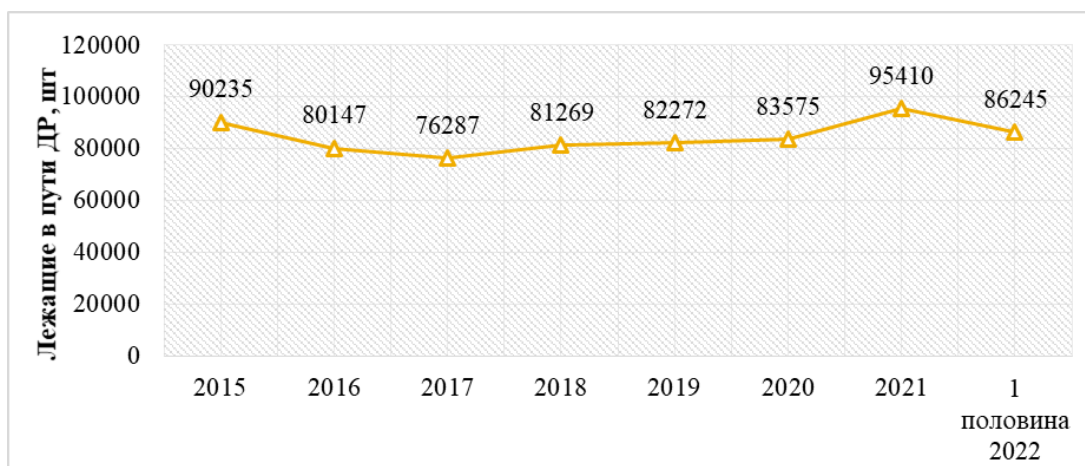


Рисунок 4.10 – Количество лежащих в пути дефектных рельсов (ДР) на сети дорог с 2015 г. с учетом прогноза

Как показывает статистика, наибольшее количество дефектных рельсов наблюдается на участках, относящихся к категории «О». Несмотря на замену 42 тыс. дефектных рельсов в 2020 г., в особо сложных условиях продолжают эксплуатироваться еще более 25 тыс. рельсов с дефектами (рисунок 4.11).

Повышенное динамическое воздействие на путь со стороны подвижного состава на участках с высокой грузонапряженностью приводит к увеличению частоты возникновения отказов рельсов и, следовательно, повышению потребности в замене дефектных и остродефектных рельсов (в 1,5-2 раза).

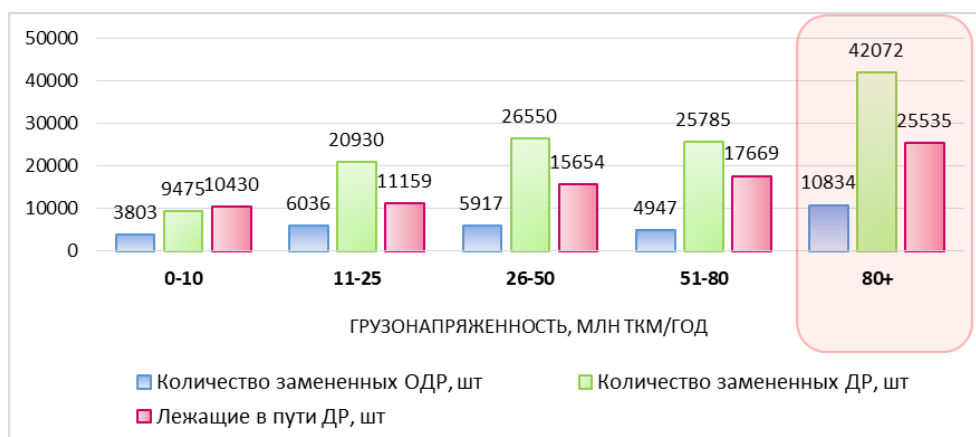


Рисунок 4.11 – Динамика образования дефектов рельсов в 2020 г. на сети железных дорог ОАО «РЖД»

4.3.4 Расчет пропускной способности для особогрузонапряженных линий

Для определения пропускной способности в недельном цикле с учетом дополнительных потерь времени, вызванных возникновением нештатных ситуаций, справедлива формула:

$$n = \frac{(1440 * 6 - 4 * 60 * m) * k - N}{t} \quad (4.6)$$

где:

N – дополнительные потери времени, возникающие в связи с появлением возможных нештатных ситуаций;

$$N = t_{\text{доп}} * n_{\text{доп}},$$

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.

Таким образом, на примере Забайкальской железной дороги получим:

$$\begin{aligned} n &= \frac{(1440 * 6 - 240 * 2,5 - 60 * 1,78) * 0,98}{10} = 777,45 \text{ (пар поездов/нед)} \\ &= 129 \text{ (пар поездов/сут)} \end{aligned}$$

Для условий Восточно-Сибирской железной дороги:

$$\begin{aligned} n &= \frac{(1440 * 6 - 240 * 2,5 - 60 * 1,21) * 0,98}{10} = 780,8 \text{ (пар поездов/нед)} \\ &= 130 \text{ (пар поездов/сут)} \end{aligned}$$

При сокращении интервала между поездами до 8 минут, при прочих неизменных условиях, получим:

Для условий Забайкальской железной дороги:

$$\begin{aligned} n &= \frac{(1440 * 6 - 240 * 2,5 - 60 * 1,78) * 0,98}{8} = 971,82 \text{ (пар поездов/нед)} \\ &= 161 \text{ (пар поездов/сут)} \end{aligned}$$

Для условий Восточно-Сибирской железной дороги:

$$n = \frac{(1440 * 6 - 240 * 2,5 - 60 * 1,21) * 0,98}{8} = 976,00 \text{ (пар поездов/нед)}$$

$$= 162 \text{ (пар поездов/сут)}$$

Таким образом, по теоретическим расчетам, в условиях эксплуатации Восточного полигона и потребного количества «окон» 2,5 в неделю, при межпоездном интервале 10 минут обеспечивается расчетная пропускная способность 129-130 пар поездов в сутки, при межпоездном интервале 8 минут обеспечивается расчетная пропускная способность 161-162 пар поездов в сутки.

В реальных условиях движения тяжеловесных поездов такая ситуация маловероятна.

На расчетный 2023 г. целевыми показателями комплексного проекта Восточного полигона предусматривается необходимость увеличения пропускной способности перевального участка Б. Луг – Слюдянка до 137 пар поездов в сутки, в том числе грузовых – 107 пар поездов в сутки и 19 сплотов из подталкивающих локомотивов в нечетном направлении [49].

При этом, за период 2019 – 2021 гг на Слюдянской дистанции было реализовано следующее количество «окон» для работ по текущему содержанию пути – рисунок 4.12.

Основной процент работ по дистанции выполнялся на перевальном участке.

Фактически реализуемое количество «окон» на 2 пути перевального участка составило:

0,9 – 1,96 шт в неделю в 2019 году,

0,7 – 2,28 шт в неделю в 2020 году,

0,7 – 1,30 шт в неделю в 2021 году – таблица 4.4, что хорошо корреспондируется с теоретическими расчетами.



Рисунок 4.12 – Количество «окон» по текущему содержанию пути на Слюдянской дистанции

Таблица 4.4 - Количество «окон» (шт) по текущему содержанию пути, реализуемое на перевальном участке

Перегон	2019		2020		2021	
	1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	1 путь	2 путь
Б. Луг - Подкаменная	30	74	46	105	48	68
Подкаменная-Глубокая	47	91	44	123	46	57
Глубокая-Андреановская	21	52	34	60	21	45
Андреановская-Ангасолка	56	80	44	36	36	36
Ангасолка-Слюдянка2	94	102	75	48	52	70
Всего	248	399	243	372	203	276

Отмены запрошенных «окон» производились, чаще всего, по причинам: неактуальные причины (40%), непредоставление «окна» ДНЦ, в т.ч. по причине сокращения времени «окна» (23%), отсутствие техники на момент начала «окна» (12%) – рисунок 4.13.



Рисунок 4.13 – Причины непредоставления «окон» в процентном соотношении

Анализ причин непредоставления «окон» показал, что одним из важных моментов в организации технического обслуживания пути в условиях перевального участка является трудности с выделением «окон» при интенсивном движении.

Существует также потребность в доступности путевой техники для проведения ремонтных работ.

При увеличении объема выправочных работ целесообразно организовать работу нескольких комплексов машин в створовые «окна». Для расчета потребного количества таких комплексов при заданном объеме работ воспользуемся укрупненной формулой

$$K = \frac{L}{lm0,8}, \quad (4.7)$$

где L – потребный объем работ, км;

l – выработка комплекса в «окно», км;

m – возможное количество «окон»;

0,8 – коэффициент запаса на отмену «окон».

Возможное количество «окон» определяется как

$$m = n_{\text{норм}}p,$$

где $n_{\text{норм}}$ – нормативное число «окон» в неделю в зависимости от грузонапряженности по табл. 4.3;

p – количество недель за сезон работ.

Например, план работ ППВ Забайкальской дирекции инфраструктуры на 2022 год составляет $L = 950$ км;

Выработка комплекса в час «окна», $l = 1,110$ км;

Выработка в «окно» продолжительностью 4 часа, $l = 4,440$ км

Грузонапряженность $\Gamma p = 180$ млн. т бр

Количество недель за сезон работ с 1 мая по 15 октября, $p = 25$

Возможное количество «окон» для Забайкальской дирекции инфраструктуры для ППВ:

$$m = 2,5 * 25 = 63,75 \text{ «окон» за сезон}$$

Потребное количество комплексов при заданном объеме работ:

$$K = 950 / 4,44 * 63,75 * 0,8 = 4,2$$

Выводы по главе

Рост грузонапряженности на сети российских железных дорог обуславливает необходимость внедрения специального порядка организации путевых работ при техническом обслуживании особогрузонапряженных участков с разделением категории пути «О» на несколько диапазонов. Основная часть работ на таких участках при фактической плотности совокупного потока по обоим путям свыше 8 поездов/ч должна выполняться в створовые «окна» продолжительностью 4 ч.

На основании проведенного анализа оценки потребного количества ремонтно-путевых работ в границах горно-перевального участка, можно сформулировать основные выводы:

1. Основу текущего содержания на 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%).

За период 2014 – 2019 гг капитальный ремонт пути (реконструкция) был проведен на 76,3 км (9%), средний ремонт – на 58,56 км пути (7%).

2. По данным последних лет в границах перевального участка частота смены рельсов в кривых по боковому износу на грузовом пути составляет от 7 месяцев до 20 месяцев, что, при установленной грузонапряженности, соответствует наработке тоннажа около 100-300 млн. т брутто, что ниже существующего норматива периодичности смены рельсов в кривых (233 млн т при двух дополнительных сменах).

Потребность в увеличении частоты смены рельсов в кривых на перевальном участке приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание пути.

3. Предлагаемая концепция назначения выправочных работ в целях профилактики возникновения расстройств пути позволит снизить накопление неисправностей пути и за счет этого продлить жизненный цикл конструкции пути.

4. По результатам исследований и эксплуатационных наблюдений за состоянием пути на горно-перевальных участках, при участии автора, в нормативную документацию [31,32] внесены:

периодичность выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки пути (ремонтные схемы) в условиях горно-перевального участка;

порядок определения частоты внеплановых смен рельсов на горно-перевальных участках с использованием формулы:

$$n_{\text{вп}} = T/t_{\text{см}} - N_{\text{норм}},$$

где

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 брутто;

$N_{\text{норм}}$ — нормативное количество смен рельсов в среднесетевых условиях по таблице 5.2 в [31].

Тогда потребное количество смен рельсов составит:

$$N_{\text{потр}} = N_{\text{норм}} + n_{\text{вп}}$$

ГЛАВА 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМПЛЕКСА МЕР ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ГОРНО-ПЕРЕВАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ

В главе приведен расчет 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 [44]).

Выдача предупреждений об ограничении скорости по состоянию пути (в данном случае, из-за сверхнормативного бокового износа рельсов) приводит к дополнительным потерям энергии, связанным с разгоном и торможением поездов, а также к дополнительным потерям поездо-часов из-за задержек поездопотока.

С другой стороны, отмена предупреждений связана с затратами на проведение работ по их устранению.

Таким образом, речь идет о сопоставлении экономических потерь от действия предупреждения об ограничении скорости из-за сверхнормативного бокового износа и затрат на внеплановую смену рельсов.

Экономические потери от введения одного предупреждения о снижении скорости на перегоне [50] $E_{эф\ торм}^{пред}$ складываются из потерь времени (поездо-ч) и механической работы. В общем виде, при снижении скорости торможением, потери $E_{эф\ торм}^{пред}$ определяются по формуле:

$$E_{эф\ торм}^{пред} = C_{пч} * \left[\Delta t_m + \Delta t_p + (l_{пред} + 2l_{поезда}) \times \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) \right] + A \quad (5.1)$$

где:

$C_{пч}$ – стоимость поездо-часа, руб

Δt_m – время на торможение, с

Δt_p – время на разгон, с

$l_{\text{пред}}$ – длина места действия предупреждения, м

$l_{\text{поезда}}$ – длина поезда, м

V_1 - скорость движения до введения ограничения, м/с.

V_2 – скорость движения после введения ограничения, м/с

A - дополнительный расход электроэнергии. Это потери, вызванные снижением скорости и последующим разгоном при выдаче предупреждений, кВт-час. Определяются в соответствии с [51] по формуле:

$$A = \mathcal{E} * e_{\mathcal{E}}(m) \quad (5.2)$$

где:

$e_{\mathcal{E}}(t)$ - расходная ставка 1 кВт-ч электроэнергии, руб. Для условий Восточно-Сибирской ж.д. принимается равной 5 руб.

\mathcal{E} – потери электроэнергии, вызванные действием предупреждения. Определяются по формуле:

$$\mathcal{E} = 3,8 * (V_1^2 - V_2^2) * \Gamma * 10^{-6} * K_{\mathcal{E}}(m) \quad (5.3)$$

где:

Γ - тоннаж, пропущенный по участку за время действия ограничения скорости движения, ткм бр/км;

$K_{\mathcal{E}}(t)$ - расход электроэнергии (условного топлива) на вводах тяговых подстанций на 1 ткм механической работы.

$$K_{\mathcal{E}}(m) = 1,3 * 3,42$$

При установленной на дороге скорости грузовых поездов на перевальном участке 60 км/ч (16,7 м/с), скорости по предупреждениям – 50 км/ч (13,9 м/с), максимальной грузонапряженности – 180 млн т/год, и полигоне действия предупреждения – 1000 м (группа из 5 кривых со средней длиной по 200 м), получим следующую схему расчета экономических потерь от действия предупреждения в течение годового цикла (Рисунок 5.1):

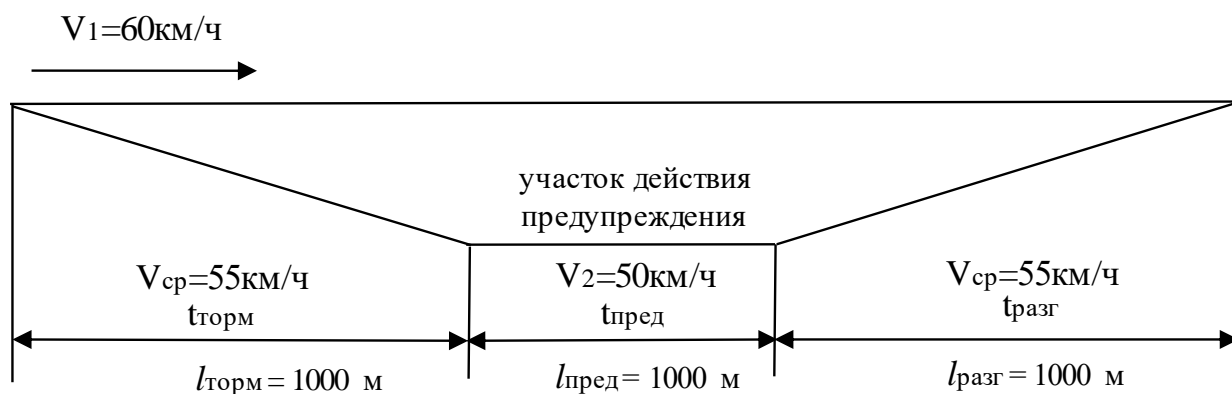


Рисунок 5.1 – Расчетная схема

Исходные данные для расчета сгруппированы в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Исходные данные для расчета

Показатель	Условное обозначение	Величина
Длина поезда, м	$l_{поезда} = l_{торм} = l_{разг}$	1000
Длина места действия предупреждения, м	$l_{пред}$	1000
Скорость движения до введения ограничения, км/ч (м/с)	V_1	60 (16,7)
Скорость движения после введения ограничения, км/ч (м/с)	V_2	50 (13,9)
Средняя скорость движения на участках торможения и разгона, км/ч (м/с)	$V_{ср}$	55 (15,3)
Грузонапряженность на участке, млн ткм бр/км в год	Γ	180

Определим время на разгон и торможение поезда при длине участка торможения (разгона) 1000 м:

$$t_{торм} = t_{разг} = \frac{1000}{15,3} = 65,3 \text{ с}$$

Определим время следования поезда по участку действия предупреждения:

$$t_{\text{пред}} = \frac{1000}{13,9} = 71,9 \text{ с}$$

Тогда общее время следования поезда $\sum t$ при ограничении скорости с 60 до 50 км/ч составит:

$$\sum t = 65,3 + 71,9 + 65,3 = 202,5 \text{ с}$$

А общее время следования участка длиной 3000 м с установленной скоростью 60 км/ч составит:

$$t_{\text{уст}} = \frac{3000}{16,7} = 179,6 \text{ с}$$

Тогда:

$$\Delta t_{60-50} = 202,5 - 179,6 = 22,9 \text{ с}$$

При стоимости поезда-часа в условиях Восточно-Сибирской железной дороги, согласно [52] – 6690, 2 руб. (1,86 руб/с), получим стоимость задержки 1-го поезда за год:

$$C_{\text{нч 1 поезд}} = 1,86 * 22,9 * 365 = 15\,546,8 \text{ руб.}$$

При пропускной способности 90 пп/сут стоимость задержки поездов за годовой цикл составит:

$$C_{\text{нч 90 поездов}} = 15\,546,8 * 90 = 1\,339\,212,9 \text{ руб.}$$

Дополнительный расход электроэнергии A при стоимости 1 кВт-ч – 5 руб. и ограничении скорости с 60 км/ч до 50 км/ч на участках различной грузонапряженности определен по формулам 5.2, 5.3. Результаты расчетов приведены в Таблице 5.2:

Таблица 5.2 - Расчетная величина расхода электроэнергии A при различной грузонапряженности

Г, млн т/год	$K_{э(m)}$	А, руб. год
180	4,45	16 725 852
150		13 938 210
100		9 292 140
50		4 646 070

Тогда при грузонапряженности 180 млн т/год, расчетные экономические потери $E_{эф торм}^{пред}$ составят:

$$E_{эф торм}^{пред} = 1\,339\,212,9 + 16\,725\,852 = 18,12 \text{ млн.руб}$$

Рассчитаем экономическую эффективность для условий горно-перевального участка. Определяем Чистый дисконтированный доход (ЧДД) на основе экономии затрат на введение предупреждения об ограничении скорости по боковому износу за счет проведения дополнительной смены рельсов [53]:

$$ЧДД(NPV) = \sum_{i=1}^n \frac{NCF_i}{(1+r)^i} - I_{nv}$$

(5.4)

где:

NCF_i – чистый денежный поток для i -го периода;

I_{nv} – начальные инвестиции;

r – ставка дисконтирования (стоимость капитала, привлеченного для инвестиционного проекта).

Принимая в расчетах за величину NCF_i полученную экономию в виде показателя $E_{эф торм}^{пред}$ на каждый расчетный период i (год) со ставкой дисконтирования r равной **14%** (на 05.05.2022) годовых в горизонте планирования 10 лет.

За параметры начальных инвестиций I_{nv} (капитальные вложения) принимаем стоимость 1 км нити сплошной смены рельсов новыми без учета НДС – 3 818,218 тыс. рублей.

В расчетах принимается стоимость капитальных вложений для 3-х дополнительных смен рельсов за год – 11 454,6 тыс. рублей.

Результаты расчетов показателя ЧДД приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Расчетная эффективность внедрения дополнительной смены рельсов на участках пути с грузонапряженностью
180 млн. т брутто в год

№ п/п	Оттоки денежных средств /годы	Годы										Всего	
		2023г.	2024г.	2025г.	2026г.	2027г.	2028г.	2029г.	2030г.	2031г.	2032г.		
		Отток денежных средств											
1.	Ежегодные расходы на проведение работ по смене рельсов, млн. руб.	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	114,5
2.	Всего оттоков денежных средств, млн. руб.	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45	114,5
		Экономия ресурсов											
3.	Действие предупреждения об ограничении скорости с 60 до 50 км/ч в течение года		18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	
4.	Экономия ресурсов, с учетом дополнительных смен рельсов, млн. руб.		6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	60,75
5.	Ставка дисконтирования, %		14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
6.	Дисконтный множитель $(1+r)^{-t}$	1	0,77	0,67	0,59	0,52	0,46	0,40	0,35	0,31	0,27		
7.	Дисконтированный денежный поток, млн. руб.	0	5,19	4,56	4,00	3,51	3,08	2,70	2,37	2,08	1,82	29,29	
8.	Чистый дисконтированный доход нарастающим итогом	-11,45	-6,26	-1,70	2,30	5,80	8,88	11,58	13,94	16,02	17,84	68,39	

По результатам расчётов ЧДД приведенного в таблице 5.3, для участка с грузонапряженностью 180 млн. т/год при действии предупреждения на длине 1000 м (группа из 5 кривых со средней длиной по 200 м) в течение года, были построены зависимости изменения ЧДД по годам (рисунок 5.2). Анализ графика показал, что период окупаемости T для данных условий составляет 3 года.

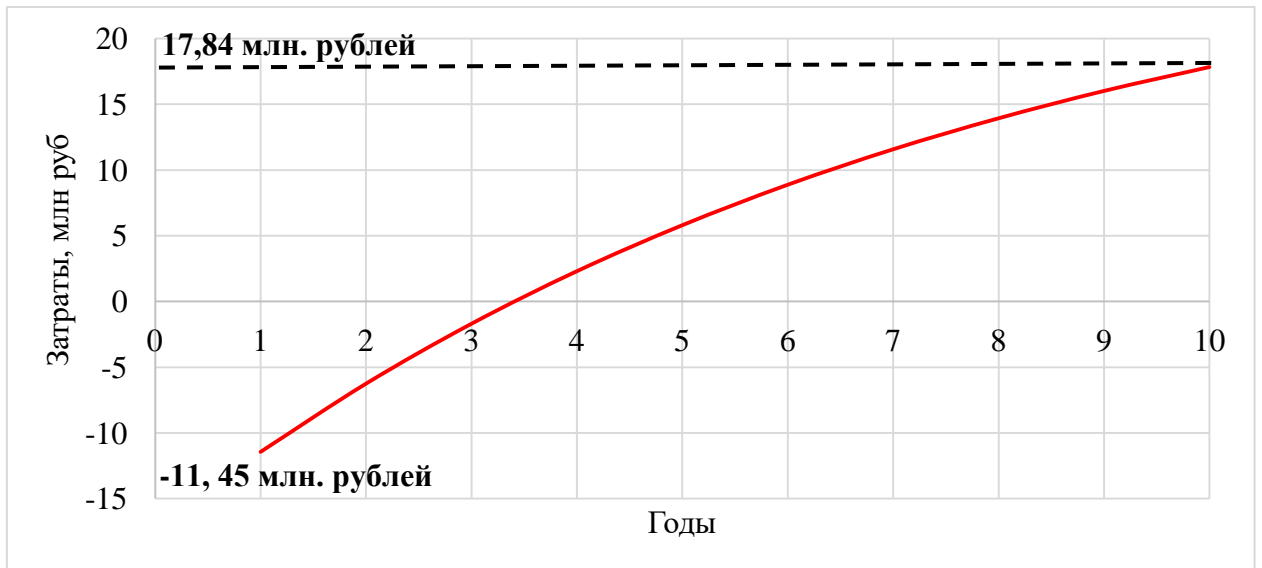


Рисунок 5.2 – ЧДД от введения 3-х дополнительных смен рельсов на участке с грузонапряженностью 180 млн т/год

Выводы по главе

По результатам расчета 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, было получено, что введение ограничения скорости по боковому износу до 50 км/ч (при установленной на дороге скорости грузовых поездов на перевале 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.

Таким образом, 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 расстройства 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 ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В.О. Певзнер Инфраструктура в условиях повышения осевых нагрузок / В.О. Певзнер, В.В. Третьяков, К.В. Шапетько, И.Б. Петропавловская // Железнодорожный транспорт. – №4. – 2018. – С.52-55.
2. Б.Н. Сергеев. Пересмотр действующих правил расчета пути // Пересмотр путевых расчётов: сб. / Центральный институт научных исследований и реконструкции железнодорожного пути НКПС. Вып.11. – М.: ОГИЗ – Гострансиздат, 1931. – С.133-185.
3. Б.Д. Никифоров Повышение осевых нагрузок грузовых вагонов / Б.Д. Никифоров, М.Ф. Вериго, В.Г. Альбрехт, Б.И. Шафиркин, А.А. Долматов // Железнодорожный транспорт. –1979. – № 9. – С. 35–39.
4. Гапанович В.А. Инфраструктура в условиях интенсификации перевозок / Гапанович В.А., Певзнер В.О., Суслов О.А., Третьяков В.В. // Железнодорожный транспорт – 2016. - №3. – С.16-20
5. Соловьев В.П. и др. Модель деформируемости грунтового основания железнодорожного пути при пропуске длинносоставных поездов / Соловьев В.П., Анисин А.В., Анисина И.М., Надежин С.С., Железнов М.М., Певзнер В.О., Третьяков И.В. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: математическое моделирование физических процессов. 2019. №3. С. 84-89
6. Сидорова Е. А. Возникновение остаточных деформаций земляного полотна и их влияние на безопасность движения / Е. А. Сидорова, В. О. Певзнер, И. М. Анисина // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2021. № 5–6. С. 43–50.
7. В.О. Певзнер О влиянии длинных неровностей пути на безопасность движения / В.О. Певзнер, Е.А. Сидорова, К.В. Шапетько, И.М. Анисина, А.Ю. Слостенин // Железнодорожный транспорт – 2021. - №11. – С.40-44

8. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286.

9. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 23 июня 2022 г. № 250.

10. Положение о проведении планово-предупредительного ремонта верхнего строения пути, земляного полотна и искусственных сооружений железных дорог союза ССР, утвержденное Госстроем СССР 6 мая 1964 г. / Москва, 1964, С. 16-17.

11. Приказ Министра путей сообщения Российской Федерации от 16 августа 1994 г. № 12-Ц «О переходе на новую систему ведения путевого хозяйства на основе повышения технического уровня и внедрения ресурсосберегающих технологий», Москва, 1994.

12. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути, утвержденные МПС России от 30 сентября 2003 г. № ЦПТ-53.

13. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 18 января 2013 г. № 75р.

14. DIN EN 13481-2-2017 Железнодорожный транспорт. Требования к рабочим характеристикам крепежных систем. Часть 2. Крепежные системы для бетонных шпал.

15. Захаров С.М. Развитие тяжеловесного движения в мире / Захаров С.М., Шенфельд К.П. // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2013. – № 4. – с. 9-17

16. Proceedings of the 10th International Heavy Haul Association Conference, New Delhi, India, 4-6 February 2013, pp. 3-11.

17. RTS.- 2013.- №8.- p. 12-16.

18. IUNA Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Railways Operations Wheel Rail Interface Issues.

19. Подшпальные подкладки для грузонапряженных линий // Железные дороги мира – 2015. - №1. – с. 71-73;

20. Певзнер В.О. Оценка работы пути, находящегося под воздействием продольных сил при реализации максимальных тяговых режимов при использовании электровозов с асинхронным тяговым приводом / В.О. Певзнер, В.В. Кочергин, В.В. Третьяков, К.В. Колесников, Е.А. Полунина // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – № 4. – С. 209-216.

21. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес. – М.:ПТКБ ЦП МПС, 1997.

22. Мелентьев Л.П., Кускова В.В. Условия эксплуатации рельсов на железных дорогах повышенной грузонапряженности //Пути сокращения одиночной смены рельсов: Труды ВНИИЖТ №659 - М, 1982. С. 15-28.

23. Концепция развития технологии лубрикации зоны контакта «колесо-рельс» на российских железных дорогах: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 16 января 2015 г. №60р.

24. Певзнер В.О. Влияние осевой нагрузки и состояния пути на интенсивность износа рельсов / Певзнер В.О., Ромен Ю.С., Сидорова Е.А., Лисицын А.И., Баронайте Р.А. // Техника железных дорог. 2021.

25. Редькин В.И. Комплексная система снижения интенсивности бокового износа рельсов на Забайкальской ж.д.: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06. – Чита – Москва, 1998, 30 с.

26. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573 с.

27. Мугинштейн, Л.А. Влияние продольных сил на опасность сходов порожних вагонов в поездах / Л.А. Мугинштейн, Ю.С. Ромен // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта – 2011. – № 3. – С. 3-6;

28. Певзнер В.О. Влияние режимов движения поездов на формирование расстройств пути / Певзнер В.О., Белоцветова О.Ю., Шапетько К.В. // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ) – 2016; Т. 75. №6, с. 349-353;

29. Левин Д. Ю. Системное управление перевозочным процессом на железнодорожном транспорте: монография / Д.Ю. Левин. — Москва : ИНФРА-М, 2020. – 313 с.

30. Белоусов А.В. Текущее содержание и особенности эксплуатации пути в сложных условиях / Белоусов А.В., Коротаева И.М. // Молодая наука Сибири: электрон. научн. журнал. – 2020 – №4 (10)

31. Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 № 2888р;

32. Технология механизированного текущего содержания пути на перевальных участках, № т1130ц-19, утвержденная Центральной дирекцией инфраструктуры 12 ноября 2019 г. № ЦДИ-845.

33. Приказ №54 от 09.02.2018 О внесении изменений в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21.12.2010 №286.

34. Джанполадова Л.А. Работоспособность рельсов в кривых // Повышение эффективности и надежности рельсов: Сборник научных трудов ВНИИЖТ. - М, 1990. С. 109-115.

35. Мелентьев Л.П. Эксплуатационная нагруженность железнодорожного пути и ее влияние на работоспособность рельсов // Повышение эффективности и надежности рельсов: Сборник научных трудов

ВНИИЖТ. - М, 1990. С. 13-29.

36. Мелентьев Л.П. Совершенствование профилей рельсов // Улучшение использования железнодорожных рельсов. Труды ЦНИИ МПС, вып. 334, 1967, с.72-141.

37. Дюндик Л.С. Определение уровня силового воздействия от подвижного состава на конструкцию бесстыкового пути в условиях горно-перевального участка ВСЖД / Дюндик Л.С., Филатов Е.В., Габитов А.Г. // Проектирование развития региональной сети железных дорог – 2013№1, с.150-158;

38. Ковенькин Д.А. Технология механизированного содержания горно-перевального участка Слюдянской дистанции пути / Ковенькин Д.А., Купко Р.С., Хаюк О.В., Подбербный В.А. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014 №1(41), с.186-192;

39. Карпущенко Н.И. Параметры колеи и износ рельсов в кривых / Н.И. Карпущенко, А.П. Козлов, И.А. Котова, Е.С. Антерейкин // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 11. – С. 7-9.

40. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес. – М.:ПТКБ ЦП МПС, 1997.

41. Коган А.Я. Оценка износа рельсов и бандажей колесных пар при движении подвижного состава в кривых участках пути / А.Я. Коган // Вестник ВНИИЖТ. – 1990. – № 2 – с. 36-40.

42. Захаров А.Н. Оценка сопротивления движению грузовых вагонов в зависимости от положения осей колесных пар в тележках и состояния пути / Захаров А.Н., Ромен Ю.С., Певзнер В.О. // Вестник ВНИИЖТ. – 1996. – № 2 – с. 33-36.

43. Ромен Ю.С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее. Методы расчета и испытаний. – М.: ВМГ-Принт, 2014. -210с.

44. Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи

путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 28.02.2020 № 436/р.

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

46. Шахунянц Г.М. Задачи текущего содержания пути. М.: Трансжелдориздат, 1945.

47. 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.

48. Каменский В.Б. Направления совершенствования системы ведения путевого хозяйства. – М.: ОАО НИИТКД, 2009. 392 с.

49. Оленцевич В. А. Комплекс организационно-технических и реконструктивных мероприятий, направленных на улучшение показателей работы участка на основе исследования системных связей и закономерностей функционирования железнодорожной транспортной системы / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко, С. К. Каргапольцев, Г. Н. Крамынина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019 – Т. 63, № 3 –С. 171–179. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).171–179.

50. Техничко-экономические показатели эксплуатационной работы железных дорог (справочник), М, «Транспорт», 1977, И. А. Сметанин, Н. В. Ежова, В. Н. Шленский и др., стр . 75.

51. «Методические указания по экономической оценке показателей эксплуатационной работы железных дорог», МПС-ВНИИЖТ, 1987 г.

52. Расходные ставки, оценочные уровни затрат на отмену, срыв, передержку «окон» и экономическая оценка устранения отказов технических

средств, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 5 марта 2022 г. № 550р.

53. Методика расчета и подтверждения экономического эффекта от использования результатов научно-технических работ в деятельности ОАО «РЖД» по кругу ведения Департамента пути и сооружений, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 30 декабря 2008 г. № 2884р.

54. 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.

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

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

57. 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.

58. 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.

59. 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.

60. 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.

61. 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.

62. 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.