

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

На правах рукописи

ВАГАНОВА ОЛЕСЯ НИКОЛАЕВНА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ
УСТРОЙСТВА И СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ В КРИВЫХ

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 – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. Анализ отечественного и мирового опыта влияния устройства и содержания кривых участков пути на взаимодействия пути и подвижного состава	13
1.1 История отечественных разработок нормативов по проектированию, устройству и содержанию кривых участков пути	13
1.2 Анализ зарубежного опыта проектирования, устройства и содержания кривых участков пути	19
1.3 Выводы по главе.....	21
Глава 2. Анализ состояния кривых участков пути, дефектности элементов верхнего строения пути в зависимости от условий эксплуатации и классификации железнодорожных путей на сети ОАО «РЖД»	23
2.1 Характеристики участков анализа и износы рельсов разных категорий качества в кривых на полигонах Забайкальской и Восточно-Сибирской железных дорогах.....	26
2.2 Анализ скорости движения, профиля пути и их влияние на износ рельсов в кривых на экспериментальном участке Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры	32
2.3 Анализ интенсивности бокового износа рельсов в зависимости от уклона профиля, подуклонки и величины непогашенного ускорения.....	47
2.3.1 Статистический анализ значимости различий средних значений по t-критерию Стьюдента	59
2.3.2 Результаты промеров и стабильность пути	65
2.3.3 Оценка фактических отклонений точек кривой от базового положения	67
2.4 Выводы по главе.....	70

Глава 3. Моделирование силового взаимодействия пути и подвижного состава в кривых участках пути	73
3.1 Теоретические аспекты.....	73
3.2 Влияние геометрии пути на показатели взаимодействия пути и подвижного состава	74
3.3 Выводы по главе.....	91
Глава 4. Совершенствование системы оценки параметров устройства и содержания пути в кривых	94
4.1 Новый подход к оценке отклонений положения кривого участка пути в плане от его проектного положения	94
4.2 Определение возвышения наружного рельса в кривых по допустимым скоростям	103
4.4 Анализ изменения возвышения и интенсивности износа на участках ремонта 2022 года.....	123
4.5 Расчет экономической эффективности предложенных технических и технологических решений.....	131
4.6 Выводы по главе.....	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	135
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	137
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время на сети железных дорог России насчитывается около 123023 кривых. Из них 1271 кривых имеют отклонения от проекта (ПрУ) и 147 кривых имеют ограничения скорости движения поездов. Ограничение скорости движения поездов по кривым распределяются следующим причинам: по величине непогашенного горизонтального ускорения в круговой кривой (Анп); по максимальной величине горизонтального ускорения в кривой (Аг); по величине уклона отвода возвышения (Укл).

Расходы на содержание кривых существенно превышают расходы на содержание прямых участков. Если сопоставить объем замененных рельсовых плетей в кривых участках пути при наработке тоннажа 80-350 млн. тонн брутто с кривыми имеющими отклонения от проекта (ПрУ), то при максимальном количестве отклонений от проекта (ПрУ) – производится максимальный объем смены рельсов. Следует отметить, что 13886 кривых (в 2022 – 13191) на сети железных дорог являются многорадиусными, что составляет 13% от всех кривых.

Таким образом, основными причинами расстройств пути в кривых на сети железных дорог в настоящее время является отклонение от проекта, их многорадиусность, несовпадение отводов кривизны и возвышения, нереализация установленных скоростей движения поездов, а также расстройства в плане. [58]. Следовательно, в условиях внедрения тяжеловесного движения и вагонов с повышенными осевыми нагрузками, кривые требуют повышенного внимания и необходимости проведения дополнительных выправочных работ. Проблема бокового износа рельсов в кривых участках пути становится все более актуальной в условиях роста грузооборота, так как влечет за собой ограничения скоростей движения поездов, необходимость предоставления «окон» на замену рельсов, рельсовых плетей и последующий ввод их в оптимальный температурный

интервал закрепления. И если в целом объем замененных рельсов по дефектам с 2017 года по сети железных дорог ежегодно снижается, то процент изъятий рельсов со сверхнормативным боковым износом – увеличивается (с 3,6% в 2017 году до 9,0% – в 2022 году). За 2022 год по сети железных дорог ОАО «РЖД» по боковому износу рельсов изъято 11883 шт. (247,56 км нити), лежит в пути 1604 шт. (41,65 км нити).

С внедрением тяжеловесного движения, а также по причине не реализации скоростей движения поездов и перегруза нижней нити в кривых участках назрела проблема не только интенсивного бокового износа, но и выкрашивания и образования трещин на поверхности катания рельсов по нижней нити. В условиях непрерывного роста объемов перевозок назрела необходимость совершенствовать систему оценки параметров устройства и содержания пути в кривых. 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 [47], 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 в кривых участках пути. Технологическая нагрузка на инфраструктуру возрастает. С 2015 года грузонапряженность по Восточному полигону увеличилась на 24% и по прогнозам будет продолжать расти. Это требует развития пропускной способности инфраструктуры. Однако, на сегодняшний день, в связи с ростом грузонапряженности свыше 150 млн. т брутто на отдельных участках железных дорог Российской Федерации, а также в связи с увеличением грузооборота интенсивность износа рельсов увеличилась, в результате чего замена рельсов в кривых участках пути радиусом 650 м и менее достигает до 2 раз в год. В первую очередь, это связано с повышением масс поездов и, соответственно, продольных сил в грузовых поездах в режиме тяги и электродинамического

торможения и появлении поперечной составляющей этих сил.

Также одним из направлений развития является реализация проекта строительства ВСМ Москва-Санкт-Петербург, скоростной линии Центр-Юг, при реализации которых ожидаемый (прогнозный) объем перевозок пассажиров по сети увеличится с 9,6 до 93,4 млн. пассажиров в год [42].

Чтобы обеспечить возрастающие железнодорожные как грузовые, так и пассажирские 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 одним из мероприятий повышение ресурса конструкции железнодорожного пути является оптимальное устройство кривых участков пути. В новых условиях устройство и проектирование кривых участков пути должна быть принципиально изменена, и учитывать особенности пассажирского, грузового и тяжеловесного движения поездов. Реализовать это можно только за счет внедрения новых подходов к проектированию и устройству кривых участков пути.

Необходимо отметить, что до 2022 года действовал порядок оценки неровностей в плане и установления скоростей движения только в зависимости от параметров отдельных неровностей и разности смежных стрел изгиба, при этом рассматривались только неровности длиной до 40 м, что явно недостаточно при скоростном и высокоскоростном движении. Отклонения от паспортного положения в действующей до 2022 года документации не нормировались. Отсутствовали нормативы устройства и содержания пути в плане для участков высокоскоростного и тяжеловесного движения [46].

Таким образом, действующая система оценки состояния пути в плане до 2022 года нуждалась в существенном совершенствовании в части оценки отклонения положения кривых в плане от проектного положения, в том числе для скоростных линий и линий тяжеловесного движения, а также

разработке механизма оценки этих отклонений и комплекса возможных мер по улучшению положения пути в плане.

Актуальность обозначенной проблемы и отсутствие нормативов оценки отклонения положения кривых в плане от проектного положения для участков высокоскоростного и тяжеловесного движения явились предпосылками к выполнению работы: «Совершенствование системы оценки параметров устройства и содержания пути в кривых».

Степень разработанности темы исследования. Решению вопросов параметров устройства и содержания пути в кривых и связанных с этим проблем взаимодействия пути и подвижного состава были посвящены работы известных учёных Абдурашитова А.Ю., Аккермана Г.Л., Балуха Х., Бельтюкова В.П., Блашко Л.С., Бучкина В.А., Быкова Ю.А., Вериги М.Ф., Глюзберга Б.Э., Дубровской Т., Ермакова В.М., Ершкова О.П., Зензинова Б.Н., Золотарского А.Ф., Каменского В.Б., Карпущенко Н.И., Карцева В.Я., Когана А.Я., Козийчука П.Г., Королева К.П., Крейниса З.Л., Крысанова Л.Г., Лысюка В.С., Левинзона М.А., Мелентьева Л.П., Митина Н.Ф., Мишина В.В., Никулина А.Н., Новаковича В.И., Певзнера В.О., Редькина В.И., Ромена Ю.С., Туровского И.Я., Фришмана М.А., Филиппова В.Ф., Чернышева М.А., Шахунянца Г.М., Шаца Э.Я., Шура Е.А., Шульги В.Я. и других.

Объект исследования – кривые участки железнодорожного пути.

Предмет исследования – параметры устройства и содержания кривых участков пути в плане и по возвышению наружного рельса.

Цель и задачи. Цель работы – разработка научно-обоснованной системы оценки параметров устройства и содержания пути в кривых в современных условиях эксплуатации и ее совершенствование.

Для достижения данной цели в работе были поставлены следующие теоретические и практические задачи:

– исследование и оценка влияния параметров устройства кривых, скорости движения подвижного состава, эксплуатационных факторов на

износ рельсов и установление зависимости интенсивности износа рельсов от условий эксплуатации и параметров расстройтва пути;

– исследование и определение влияния параметров устройства кривых, отклонений фактического положения пути в плане от проектного положения на показатели взаимодействия пути и подвижного состава;

– исследование и формирование системы установления возвышения наружного рельса в кривых в различных условиях эксплуатации.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

– установлена степень влияния несоответствия расчетных параметров кривых участков пути фактическим условиям эксплуатации по показателям взаимодействия пути и подвижного состава и их влияние на износ рельсов;

– установлена взаимосвязь между параметрами интенсивности расстройтва пути в кривых участках пути и роста износа рельсов с одной стороны и условиями эксплуатации на участках тяжеловесного движения с другой;

– установлена степень влияния параметров устройства кривых участков пути и скоростей движения подвижного состава на интенсивность износа и выхода рельсов по дефектности на участках тяжеловесного движения в современных условиях эксплуатации при высокой грузонапряженности.

Теоретическая значимость исследования определяется разработкой системы оценки влияния параметров устройства и расстройтва кривых участков пути на показатели интенсивности износа рельсов и выхода рельсов по дефектности в зависимости от условий эксплуатации (высокая грузонапряженность, тяжеловесное, грузовое и пассажирское движение).

Практическая значимость результатов, полученных в ходе работы над диссертационным исследованием:

– разработаны методические подходы к установлению двухуровневой системы определения разрешенных скоростей движения поездов, включающей в себя допускаемые и допустимые скорости движения поездов;

– предложены нормативы оценки параметров устройства кривой по отклонениям от проектного положения. Предложение внедрено распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (раздел 11);

– предложен порядок устройства и содержания кривых участков пути на стадиях проектирования и эксплуатации с целью недопущения возникновения многорадиусности кривых и, тем самым, снижения неравномерности силового воздействия подвижного состава на путь. Предложение внедрено распоряжением ОАО «РЖД» от 24 января 2022 г. № 131/р;

– предложен новый порядок по определению возвышения наружного рельса в кривых на основе двухуровневой системы скоростей и требования к параметрам устройства и содержания кривых участков пути на основе допустимых скоростей движения поездов. Предложение внедрено распоряжением ОАО «РЖД» от 20 декабря 2021 г. № 2897/р;

– определен порядок установления двухуровневой системы определения разрешенных скоростей движения.

Методология и методы исследования. Научная работа основана 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 опытных кривых участков пути на износ рельсов (рельсовые плети, сваренные методом чередования из рельсов категории ДТ400ИК/ДТ350 и ДТ370ИК);

– сравнительный анализ износа элементов верхнего строения пути и динамики изменения параметров состояния в кривых участках пути в различных условиях эксплуатации;

– результаты статистической обработки данных эксплуатационных

наблюдений и построение статистических зависимостей;

- результаты измерения отклонений в кривых участках пути от базового положения хордовым методом (вручную), с использованием мобильных средств диагностики (МСД) и тахеометрической съемки;

- 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 состояния пути на износ рельсов и влияния рамных сил от амплитуды неровностей в кривых участках пути.

- проведение расчетов горизонтальных, поперечных сил, рамных и боковых сил возникающих при взаимодействии пути и подвижного состава в кривых участках пути;

- построение системы оценки степени влияния параметров устройства и содержания кривых участков пути, условий эксплуатации и расстройтва пути на износ рельсов.

По результатам обобщения полученных массивов данных и их анализа методами математической статистики установлены закономерности развития износа рельсов и выхода рельсов по дефектности в условиях тяжеловесного движения и высокой грузонапряженности.

Положения, выносимые на защиту:

- совокупность результатов экспериментальных, теоретических исследований и эксплуатационных наблюдений по влиянию параметров устройства и содержания пути в кривых участках пути, а также отклонений пути в плане от проекта на показатели взаимодействия пути и подвижного состава;

- результаты исследования влияния степени расстройтва экспериментальных кривых участков пути на Восточно-Сибирской и Забайкальской железных дорогах с учетом параметров их устройства и

скорости движения подвижного состава на износ рельсов;

– результаты исследования зависимости интенсивности горизонтального износа рельсов от пропущенного тоннажа в экспериментальных кривых на Восточно-Сибирской и Забайкальской железных дорогах;

– предложения по совершенствованию системы оценки параметров устройства и содержания пути в кривых в современных условиях эксплуатации;

– выявление закономерности влияния степени расстройтва кривых участков пути на интенсивность износа рельсов.

Степень достоверности и апробация работы подтверждается сходимостью результатов математического моделирования с данными, полученными в ходе теоретических, экспериментальных исследований, эксплуатационных наблюдений, полигонных испытаний и объемами эксплуатационных наблюдений, обеспечивающих статистическую значимость полученных выводов. Полученные результаты согласуются с результатами исследований, полученных ранее другими специалистами и результатами апробации полученных решений на сети железных дорог.

Полученные автором результаты докладывались и обсуждались на следующих научных семинарах и конференциях: XVII Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», посвященной памяти профессора Шахунянца Г.М., Москва, РФ, 2020 г.; XVIII Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути» посвященной памяти профессора Шахунянца Г.М. Москва, РФ, 2020 г.; четвертая международная конференция «Перспективные направления развития рельсовой индустрии. Технологии производств и эксплуатации», Сочи, РФ, 2021 г.; Международная научно-практическая конференция «Железнодорожный транспорт и технологии» «RAILWAY

TRANSPORT AND TECHNOLOGIES» (RTT-2021), Екатеринбург, РФ, 2021 г.; Шестая научно-техническая конференция по теме «Рельсовая стратегия – эффективность инфраструктуры», Сочи, РФ, 2023 г.; 135 заседание ежегодной межотраслевой Рельсовой комиссии, Новокузнецк, РФ, 2019 г.; 137 заседание ежегодной межотраслевой Рельсовой комиссии, Челябинск, РФ, 2021 г.; сетевое совещание «Эксплуатация устройств инфраструктуры на участках движения высокоскоростных и скоростных пассажирских поездов», Москва, РФ, 2019 г.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также эксплуатационных наблюдений использованы при разработке нормативных документов ОАО «РЖД» по определению возвышения наружного рельса в кривых на основе двухуровневой системы скоростей:

Руководство по определению возвышения наружного рельса в кривых на основе двухуровневой системы скоростей, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 20 декабря 2021 г. № 2897/р.

Порядок установления двухуровневой системы определения разрешенных скоростей движения, утвержденный распоряжением ОАО «РЖД» от 20 декабря 2021 г. № 2897/р.

Порядок определения допустимых скоростей движения поездов, утвержденный распоряжением ОАО «РЖД» от 20 декабря 2021 г. № 2897/р.

Оценка параметров устройства кривых участков пути по отклонениям от проектного положения при выполнении ремонтных работ. Правила ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (раздел 11, таблица 11.6).

Инструкция, определяющая единый порядок устройства и содержания кривых участков пути на стадиях проектирования и эксплуатации с целью минимизации расстройств и износов верхнего строения пути, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 24 января 2022 г. № 131/р.

Глава 1. Анализ отечественного и мирового опыта влияния устройства и содержания кривых участков пути на взаимодействия пути и подвижного состава

История отечественных разработок нормативов по проектированию, устройству и содержанию кривых участков пути

Вопросам соблюдения требуемого положения пути в плане на отечественных железных дорогах всегда уделялось большое внимание. Неслучайно многие работы признанных ученых и специалистов, таких как Абдурашитова А.Ю., Аккермана Г.Л., Балуха Х., Бельтюкова В.П., Блашко Л.С., Бучкина В.А., Быкова Ю.А., Вериги М.Ф., Глюзберга Б.Э., Дубровская Т., Ермаков В.М., Ершков О.П., Зензинова Б.Н., Золотарского А.Ф., Каменского В.Б., Карпущенко Н.И., Карцева В.Я., Когана А.Я., Козийчука П.Г., Королева К.П., Крейниса З.Л., Крысанова Л.Г., Лысюка В.С., Левинзона М.А., Мелентьева Л.П., Митина Н.Ф., Мишина В.В., Никулина А.Н., Новаковича В.И., Певзнера В.О., Редькина В.И., Ромена Ю.С., Туровского И.Я., Фришмана М.А., Филиппова В.Ф., Чернышева М.А., Шахунянца Г.М., Шаца Э.Я., Шура Е.А., Шульги В.Я. посвящены устройству, содержанию пути в кривых и связанных с этим проблем взаимодействия пути и подвижного состава.

В этой связи представляет интерес ретроспективный анализ документов, связанных с выправкой пути в плане, а также с системой оценки ее на отечественных и зарубежных железных дорогах.

В приказе НКПС № 79-Ц от 1936 г. состав работ при реконструкции и капитальном ремонте пути включал «Пункт 12. Инструментальная выправка всех круговых кривых и устройство переходных кривых при радиусе 2000 м и менее», в котором изложены следующие требования:

«На линиях, реконструируемых под скоростное движение, переходные кривые устраиваются на кривых всех радиусов.

Фиксированное положение кривых и прямых в профиле и плане осуществляется устройством реперов» [3].

В СТН-Ц-01-95 [4] указано следующее:

«4.21. ...При переустройстве кривых существующего пути следует применять постоянные значения радиусов на всем протяжении круговой кривой. В трудных условиях, когда выполнение этого требования вызывает необходимость переустройства существующего земляного полотна или искусственных сооружений, допускается сохранять радиусы различных значений при длине участков постоянной кривизны не менее 300 м, а в исключительных случаях – не менее 200 м.

На новых магистральных скоростных линиях, особо грузонапряженных и линиях I-III категорий применять составные кривые не допускается...».

В Технических условиях на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути, утвержденных Распоряжением ОАО «РЖД» от 18.01.2013 № 75р [5] в пункте 4.2.2.5 предусмотрено, что «В состав капитального ремонта пути на новых материалах могут быть включены следующие дополнительные работы:

...частичное уположение кривых, удлинение переходных кривых и прямых вставок, если это не требует дополнительных работ по отсыпке земляного полотна и перестановки опор контактной сети в объеме более 5 %».

До 2022 года в Распоряжении ОАО «РЖД» от 19.01.2018 № 101р в составе капитального ремонта 1 уровня предусматривалось «...уположение кривых, удлинение переходных кривых и прямых вставок, если это не требует досыпки земляного полотна или разработки выемки, замены или перестановки опор контактной сети в объеме более 5 % от их количества на участке» [6].

В такой же редакции это требование записано в Приказе Минтранса от 9.02.2018 № 54 [7] и в распоряжении ОАО «РЖД» от 18.01.2013 № 75р [5].

Таким образом, можно констатировать тот факт, что в существующей

до 2022 года нормативной документации на ремонты пути однозначных требований по ликвидации многорадиусности кривых, а также постановке и постоянному поддержанию пути в проектном положении не содержится.

Аналогичная ситуация сложилась и при оценке положения пути в плане. До 1975 г. отдельные отступления состояния пути в плане не проверялись, так как путеизмерители системы Ляшенко фиксировали только горизонтальные толчки. В Инструкциях были приведены только нормативы разности смежных стрел изгиба в точках через 10 м.

Так Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути от 27.06.1959 № ЦП/2023 в § 16 гласит [8]:

«В плане путь должен содержаться:

на прямых участках без видимых извилин;

на участке круговых кривых — плавно, без резких колебаний в стрелах изгиба, при измерении стрел изгиба от хорды 20 м в точках, отстоящих одна от другой на 10 м, допускается разность в стрелах не более указанных» в (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Максимальная разность стрел изгиба, мм, на круговой кривой через 10 м

Максимальные скорости движения поездов, км/ч	Радиус, м		
	Более 650	650—401	400 и менее
50—100	6	8	10
50 и менее	8	10	12

«На участках обращения поездов со скоростями более 100 км/ч разность в стрелах на кривых всех радиусов не должна быть больше 6 мм.

Путь, имеющий видимые извилины на прямых участках и отклонения в стрелах на кривых более допускаемых, должны выправляться».

В Инструктивных указаниях по устройству и содержанию пути на железнодорожных линиях со скоростным движением пассажирских поездов (от 04.07.1964 ЦП-202) в § 16 [9] требования к положению пути в плане сформулированы следующим образом:

«В плане путь должен содержаться:

а) на прямых участках — без извилин, видимых невооруженным глазом. Стрелы плавных отклонений в направлении рихтовочной нити, измеренные от 20 м хорды через каждые 10 м в прямых участках пути, не должны превышать величин, указанных» в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Стрелы плавных отклонений на пути в прямых, мм

Скорости движения, км/ч	Звеньевой путь	Бесстыковой путь
101—120	8	5
121—140	6	5
141—160	4	4

«Сумма смежных разнонаправленных стрел от 20 м хорды в точках через 10 м не должна превышать величин, указанных» в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Сумма смежных разнонаправленных стрел, мм

Скорости движения, км/ч	Звеньевой путь	Бесстыковой путь
101—120	6	5
121—140	5	5
141—160	4	4

«При сопряжениях прямолинейных стрелочных переводов с примыкающими кривыми стрела от 20 м хорды против заднего стыка крестовины не должна превышать 8 мм.

Короткие извилины рельсовых нитей в плане следует улавливать дополнительными промерами стрел со сдвижкой точек через 5 м;

б) на круговых кривых — без резких колебаний стрел изгиба; при изменении стрел от 20 м хорды разность в стрелах в точках через 10 м не должна превышать:

при скоростях 101—120 км/ч — 8 мм;

при скоростях 121—140 км/ч — 6 мм;

при скоростях 141—160 км/ч — 4 мм.

в) на переходных кривых — с равномерным нарастанием стрел изгиба; отклонения от равномерного нарастания стрел изгиба при 20 м хорде в точках через 10 м не должны превышать:

при скоростях 101—120 км/ч — 6 мм;

при скоростях 121—140 км/ч — 4 мм;

при скоростях 141—160 км/ч — 3 мм.»

В 1975 г. были утверждены Технические указания по расшифровке записей и оценке состояния пути по показаниям путеизмерительных вагонов [10]. В них предусматривался порядок оценки неровностей в плане, представленный в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Оценка неровностей в плане

Степень отступления	Разность стрел изгиба, измеренных от хорды длиной 20 м, в точках, расположенных на расстоянии 10 м (включительно) друг от друга, мм	Балловая оценка
I	До 8 включительно	0
II	Более 8 до 16 включительно	1
III	Более 16 до 25 включительно	10
IV	Более 25 до 35 включительно	150
V	Более 35	251

Техническими указаниями по расшифровке записей путеизмерительных вагонов, оценке отступлений от норм содержания рельсовой колеи железнодорожного пути, мерам по обеспечению безопасности движения поездов при их обслуживании (ТУ-81) [11] установлено следующее: «состояние пути по направлению в плане оценивается баллами, начисленными за каждое отступление в зависимости от степени отступления и его протяженности» (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Балловая оценка отступлений по направлению в плане

Величина отступления	Разность стрел изгиба, измеренных от середины хорды длиной 20 м, мм	Длина отступления		
		до 10 м включительно	более 10 м до 20 м включительно	более 20 м до 40 м включительно
I	До 10 включительно	0	0	0
II	Более 10 и до 18 включительно	1	1	0
III	Более 18 до 25 включительно	15	5	1
IV	Более 25 до 35 включительно	500	100	50
V	Более 35	1000	500	100

ТУ-81 впервые в отечественной практике предусматривали нормирование скоростей движения в зависимости от величины неисправностей геометрии пути, в том числе по отступлениям в плане (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Скорости движения поездов (пассажирских/грузовых) в зависимости от отступлений по направлению пути в плане, км/ч

Степень отступления	Разность стрел изгиба, измеренных от середины хорды длиной 20 м, мм	Для отступлений длиной, м	
		До 10 включительно, более 10 до 20 включительно	Более 20 до 40 включительно
I-III	До 25 включительно	Установленная, но не более 140/100	Установленная, но не более 140/100
IV	Более 25 до 35 включительно	Установленная, но не более 120/80	То же
V	Более 35 до 65 включительно	Не более 60	
	Более 65 до 90 включительно	Не более 15	Не более 80/60
	Более 90	Не более 15	Не более 15

Согласно Инструкции по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам обеспечения безопасности движения поездов (ЦП-515), утвержденной в 1997 г., предусмотрен следующий порядок ограничения скоростей движения при наличии отступлений в плане (разности стрел) (таблица 1.7) [12].

Таблица 1.7 – Номинальные величины отступлений в плане (разность стрел), мм

Установленная скорость движения поездов (числитель — пассажирские, знаменатель — грузовые), км/ч	Степень отступления	Длина неровности пути	
		До 20 м включительно	Более 20 м до 40 м включительно
121—140/81—90	I	10	15
	II	15	25
	III	25	35
	IV	Более 25	Более 35
81—120/71—80	I	10	15

Установленная скорость движения поездов (числитель — пассажирские, знаменатель — грузовые), км/ч	Степень отступления	Длина неровности пути	
		До 20 м включительно	Более 20 м до 40 м включительно
	II	25	35
	III	35	40
	IV	Более 35	Более 40
61—80/61—70	I	15	25
	II	35	40
	III	40	50
	IV	Более 40	Более 50
41—60	I	20	30
	II	40	50
	III	50	65
	IV	Более 50	Более 65
16—40	I	25	35
	II	50	65
	III	65	90
	IV	Более 65	Более 90
15	I	30	40
	II	65	90
	III	100	100
	IV	Более 100	Более 100
Закрывается движение поездов	IV	Более 100	Более 100

Таким образом, до 2022 года действовал порядок оценки неровностей в плане и установления скоростей движения только в зависимости от параметров отдельных неровностей и разности смежных стрел изгиба, при этом рассматривались только неровности длиной до 40 м, что явно недостаточно при скоростном и высокоскоростном движении. [45].

Данной тематики были посвящены работы Ершкова О.П. [44, 79], Каменского В.Б. [69].

Анализ зарубежного опыта проектирования, устройства и содержания кривых участков пути

В отличие от российских дорог, за рубежом основным критерием оценки положения пути в плане является отклонение от проектного (паспортного) положения.

В США допуски устанавливаются в зависимости от скоростей движения, привязанных к категории линий (таблица 1.8) [13]. При оценке отклонения рельсовых нитей в плане от паспортного положения стрелы изгиба не должны превышать допуски, указанные в таблице 1.9.

Таблица 1.8 – Максимально допускаемые скорости движения грузовых и пассажирских поездов на железных дорогах США

Категория пути	Максимальная скорость движения грузовых поездов, км/ч	Максимальная скорость движения пассажирских поездов, км/ч
1	16	24
2	40	48
3	64	97
4	97	129
5	129	145
6	129	177

Таблица 1.9 – Допускаемые отклонения от паспортного положения стрел изгиба в плане

Категория пути	План пути		
	Прямая	Кривые	
	Допускаемое отклонение посередине хорды длиной 18,9 м, мм	Допускаемое отклонение посередине хорды длиной 9,45 м, мм	Допускаемое отклонение посередине хорды длиной 18,9 м, мм
1	127	Не применяется	127
2	76	Не применяется	76
3	44	32	44
4	38	25	38
5	19	13	16
6	19	13	16

Перечень допусков по положению пути в плане в разных странах, приведен в таблице 1.10 [14, 15, 16].

Таблица 1.10 – Допуски на содержание пути в плане на отклонении рельсовых нитей от паспортного значения на хорде длиной 10 м, мм

Страна (ширина колеи 1435 мм)	Скорость, км/ч	Допускаемые значения	Предельные значения в эксплуатации
Япония В прямых В кривых	200	4 5	7 8
Германия	≤ 80 81—140 141—160	Требующие повышенного внимания 16 12 10	Требующие устранения 22 16 14
Австрия	≤ 80 81—120 121—160	18 14 11	22 17 13

Нормативы положения пути в плане железных дорог Финляндии приведены в таблице 1.11 [17].

Таблица 1.11 - Граничные значения отклонения стрелы изгиба (NKO 20, NKV 20) на участке длиной 20 м относительно среднего значения, мм

Категория дефекта	Уровень технического обслуживания							
	1AA	1A	1	2	3	4	5	6
С	4	4	5	7	8	10	13	17
D	6	6	7	9	10	14	21	28
Прочие	9	9	10	12	14	19	25	36

Примечание. Уровни технического обслуживания предусматривают следующие скорости движения: 1AA — до 220 км/ч; 1A — до 220 км/ч (с различием по конструкции пути); 1 — до 140 км/ч; 2 — до 120 км/ч; 3 — до 110 км/ч; 4 — $70 < V \leq 100$ км/ч; 5 — $50 < V \leq 70$ км/ч; 6 — $V < 50$ км/ч.

Выводы по главе

В результате проведенного анализа получены следующие основные результаты:

1 В конце 20 – начале 21 века вопрос о необходимости разработки дифференцированного подхода к устройству кривых участков пути в

зависимости от условий эксплуатации 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 существующие нормативы устройств и содержания кривых участков, разработанные еще в середине прошлого века, предназначены для обеспечения безопасности движения подвижного состава того периода, и не учитывают проблемы накопления деформаций и расстройств кривых при движении поездов повышенной массы и длины.

3 Отсутствуют нормативы устройства и содержания пути в плане для участков тяжеловесного (интенсивного грузового) и высокоскоростного движения.

4 Таким образом, действующая система оценки состояния пути в плане нуждается в существенном совершенствовании в части оценки отклонения положения кривых в плане от проектного положения с учетом специализации пути (грузовое или пассажирское движение), а также разработке механизма оценки этих отклонений и комплекса возможных мер по улучшению положения пути в плане.

С учетом вышеизложенного, далее для более точного и обоснованного подхода к устройству кривых в зависимости от условий эксплуатации (тяжеловесное, грузовое, скоростное, высокоскоростное, пассажирское движение) необходимо тщательно изучить особенности влияния факторов их устройства на интенсивность износа элементов верхнего строения пути.

Глава 2. Анализ состояния кривых участков пути, дефектности элементов верхнего строения пути в зависимости от условий эксплуатации и классификации железнодорожных путей на сети ОАО «РЖД»

Развитие железнодорожного транспорта в нашей стране характеризуется множественными показателями, такими как: увеличение скорости движения, рост пропускной и провозной способности, создание новых видов железнодорожного подвижного состава и элементов инфраструктуры. Одним из наиболее наглядных показателей развития сети железных дорог Российской Федерации является грузонапряженность.

За последние пять лет грузооборот на сети ОАО РЖД» увеличился на 24% и по прогнозам будет продолжать расти. Одновременно с ростом грузонапряженности наблюдается тенденция роста и образования дефектов рельсов [62, 66].

В условиях роста грузооборота проблема бокового износа рельсов в кривых участках пути становится все более актуальной, так как влечет за собой ограничения скоростей движения поездов, необходимость предоставления «окон» на замену рельсов, рельсовых плетей и последующий целом объем замененных рельсов по дефектам с 2017 года по сети железных дорог ежегодно снижается, то процент изъятий рельсов со сверхнормативным боковым износом – увеличивается (с 3,6% в 2016 году до 9,0% – в 2022 году), (с 7738 в 2016 году до 12880 шт. в 2022 году). Внедрение тяжеловесного движения сопровождается увеличением доли вагонов с повышенными осевыми нагрузками до 25 тс, повышением масс поездов до 9000 т при тяге с головы и до 14200 т – при соединенных поездах. Это приводит к увеличению продольных сил в грузовых поездах в режиме тяги и электродинамического торможения, а также появлению поперечной составляющей этих сил, что в совокупности с нереализованными скоростями движения поездов влечет за собой перегруз нижней нити в кривых участках

пути. В связи с этим в настоящее время на сети дорог актуальной проблемой также является выкрашивание и образование трещин на поверхности катания рельсов по нижней нити (рост выхода рельсов по коду 19 с 15021 шт. в 2016 году до 19882 шт. в 2022 году). Образование дефектов рельсов является во многих случаях управляемым процессом. Доказано, что связано оно с многочисленными макро факторами. В первую очередь с грузонапряженностью. Вторым фактором, влияющим на интенсивность образования дефектов является план линии.

Основными причинами расстройтва пути в кривых является отклонение от проекта, их многорадиусность, несовпадение отводов кривизны и возвышения, нереализация установленных скоростей движения поездов и расстройтва в плане.

По сети железных дорог России протяжение путей первого класса от общего протяжения железнодорожных путей составляет 30,61% (38 726 км), второго класса – 23,704% (29 921 км), третьего класса – 31,192% (39 148 км), четвертого класса – 14,49% (18 474 км). Протяжение путей первого и второго класса кода «О» – особогрузонапряженная, с грузонапряженностью участков более 80 млн. тонн км брутто составляет 16 167 км (12% от общего протяжения развернутой длины главного хода).

Распределение длины главного хода в зависимости от плана линии приведено в таблице 2.1.

Для оценки параметров и критериев влияния различных факторов на устройство кривых участков пути проведено исследование на Забайкальской и Восточно-Сибирской железных дорогах на особогрузонапряженных линиях. Выбор связан с необходимостью определения взаимосвязей устройства кривых (влияние плана пути) и установленной скорости, а так же воздействия подвижного состава в соответствии с классификацией железнодорожных путей.

Таблица 2.1 – План линии на сети железных дорог

Развернутая длина, всего	Протяженность прямых участков	Кривые участки									
		Количество шт.	Протяженность, всего	В т.ч. с радиусом							
				299 и менее	300- 350	351- 500	501-650	651- 850	851- 1000	1001-1200	более 1200
125975,145	85087,254	123023	40887,9	958,7	1853,6	3978,4	10819,5	5258,3	3105,9	5656,6	9256,9

2.1 Характеристики участков анализа и износы рельсов разных категорий качества в кривых на полигонах Забайкальской и Восточно-Сибирской железных дорогах

С целью определения факторов влияющих на параметры устройства и содержания кривых участков пути в различных условиях эксплуатации определены опытные участки в границах Восточно-Сибирской и Забайкальской дирекций инфраструктуры. Опытные участки выбраны из условия наличия кривых малого радиуса – менее 350 м, средних радиусов 350-650 м и пологие – с радиусами более 650 м. Все участки являются особогрузонапряженными, что позволило оценить в течение года влияние параметров устройства кривых на износ элементов верхнего строения пути, в том числе рельсов различных категорий на предмет их изностойкости, сопротивления поверхностным выкрашиваниям, а также выхода рельсов по технологическим дефектам. В границах Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры наблюдались участки с рельсами ДТ370ИК (ПЧ-9), а также участки, где в рамках эксперимента в 2020 году уложены рельсы, сваренные методом чередования двух категорий ДТ350 (50 м) и ДТ400ИК (50 м), по Забайкальской дирекции инфраструктуры – участки с рельсами ДТ370ИК, а также участки, где в рамках эксперимента в 2020 году уложены рельсы, сваренные методом чередования двух категорий ДТ350 (50 м) и ДТ400ИК (50 м), Свердловской и Южно-Уральской дирекциях инфраструктуры наблюдались участки с рельсами ДТ350.

В январе, мае и октябре 2021 г. в полевых условиях произведен осмотр и анализ экспериментальных криволинейных участков пути с уложенными рельсами разных категорий (ДТ350, ДТ370ИК, ДТ400ИК) на полигонах Забайкальской и Восточно-Сибирской железных дорог.

В соответствии с программой и методикой наблюдений были организованы ежеквартальные промеры бокового, вертикального износа рельсов в круговых кривых по контрольным сечениям (через 10м) по

наружной и внутренней нитям, были измерены протяжение и глубина поверхностных выкрашиваний по внутренним и наружным нитям кривых, длина и глубина волн (рифлей), зафиксированы ширина колеи, возвышение наружного рельса. Зафиксированы факторы, влияющие на интенсивность бокового износа и выкрашиваний поверхности катания рельсов. Также проанализировано соответствие фактических возвышений наружного рельса реализуемым скоростям, работа передвижных лубрикаторов и шлифовки рельсов.

Исследования проводились на участках пути расположенного на участках подъема, спуска, с переломом профиля, и много радиусных кривых.

Характеристики опытных участков приведены в таблицах 2.2 – 2.5. Результаты эксплуатационных наблюдений по каждому кривому участку пути по Забайкальской и Восточно-Сибирской дирекциям инфраструктуры представлены в Приложении к диссертации.

Таблица 2.2 – Расположение опытных участков на Забайкальской дирекции инфраструктуры

№ участка	Дистанция пути ПЧ	Наименование перегона, станции	Путь	Границы	Протяженность, км пути	Грузонапряженность 2020-21 г	Участок-Радиус пути, м	Конструкция верхнего строения пути			
								Тип/ категория рельсов	тип шпал	вид балласта	тип скрепления
1	2	Хилок - Могзон	2	6015 км ПК10-6016 км ПК4	0,28	166	430	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
2	2	Хилок - Могзон	2	6016 км ПК4-6016 км ПК7	0,331	166	425	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
3	2	Хилок - Могзон	2	6016 км ПК7-10	0,257	166	410	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
4	2	Хилок - Могзон	2	6023 км ПК 4-7	0,495	166	375	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
5	2	Хилок - Могзон	2	6029 км ПК3-7	0,27	166	412	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
6	3	Лесная - Домна	2	6141 км ПК8-6142 км ПК3	0,255	166	315	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
7	3	Лесная - Домна	2	6142 км ПК 3-8	0,515	166	316	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
8	3	Лесная - Домна	2	6142 км ПК8-6143 км ПК1	0,299	166	324	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
9	3	Лесная - Домна	2	6145 км ПК7-6146 км ПК2	0,469	166	320	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
10	4	Чита 2- Антипиха	2	км 6200 ПК 1–5	0,380	166	327	Р65/ДТ350и ДТ400ИК (Ч)	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
11	4	Чита 2- Антипиха	2	км 6201 ПК 5–10	0,340	159,5-165	315	Р65/ДТ350и ДТ400ИК (Ч)	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
12	9	Пеньковская - Могоча	2	км 6885 ПК 1– 10	0,820	147	324	Р65/ДТ350и ДТ400ИК (Ч)	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ/ПШР (вн.)
13	11	Ер. Павлович - Сегачама	2	км 7125 ПК 2 –10	0,460	147	323	Р65/ДТ350и ДТ400ИК (Ч)	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ

№ участка	Дистанция пути ПЧ	Наименование перегона, станции	Путь	Границы	Протяженность, км пути	Грузонапряженность 2020-21 г	Участок-Радиус пути, м	Конструкция верхнего строения пути			
								Тип/ категория рельсов	тип шпал	вид балласта	тип скрепления
14	11	Ер. Павлович - Сегачама	2	км 7132 пк 4 – км 7133 пк 9	1,460	147	5.1 – 319 5.2 – 310 5.3 – 323 5.4 – 311	Р65/ДТ350и ДТ400ИК (Ч)	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
15	11	Ер. Павлович - Сегачама	2	км 7134 пк 3 –10	0,520	147	324	Р65/ДТ350и ДТ400ИК (Ч)	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ, АРС-4

Таблица 2.3 – Расположение опытных участков на Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры

№ участка	Дистанция пути ПЧ	Наименование перегона, станции	Путь	Границы	Протяженность, км пути	Грузонапряженность 2020-21г	Участок-Радиус пути, м	Конструкция верхнего строения пути			
								тип рельсов	тип шпал	вид балласта	тип скрепления
1	9	Большой Луг - Подкаменная	2	5225 км пк8-5226 км пк1	0,347	169	298	Р65/ДТ350 и ДТ400ИК (Ч) обе нити	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
2	9	Большой Луг - Подкаменная	2	5226 км пк2-5	0,255	169	310	Р65/ДТ350 и ДТ400ИК (Ч) обе нити	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
3	9	Большой Луг - Подкаменная	2	5227 км пк9-5228 км пк1	0,2	169	301	Р65/ДТ350 и ДТ400ИК (Ч) пр, вн/ДТ370 ИК лев нар	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
4	9	Большой Луг - Подкаменная	2	5228 км пк2-6	0,418	169	389	Р65/ДТ350 и ДТ400ИК (Ч) пр, вн/ДТ370 ИК лев нар	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
5	9	Большой Луг - Подкаменная	2	5231 км пк9-5232 км пк6	0,599	169	300	Р65/ДТ350/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
6	9	Большой Луг - Подкаменная	2	5232 км пк6-5232 км пк8	0,189	169	300	Р65/ДТ400ИК/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ

№ участка	Дистанция пути ПЧ	Наименование перегона, станции	Путь	Границы	Протяженность, км пути	Грузонапряженность 2020-21г	Участок-Радиус пути, м	Конструкция верхнего строения пути			
								тип рельсов	тип шпал	вид балласта	тип скрепления
7	9	Ангасолка - Слюдянка	2	5290 км ПК7-5291 км ПК7 (Тоннель)	1,0	169	348/346	Р65/ДТ370ИК вн/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
8	9	Ангасолка - Слюдянка	2	5296 км ПК1-4	0,262	169	302	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
9	9	Ангасолка - Слюдянка	2	5296 км ПК6-8	0,2	169	306	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
10	9	Ангасолка - Слюдянка	2	5296 км ПК7-5297 км ПК3	0,595	169	300	Р65/ДТ370ИКвн/ДТ350 (2021 г.)	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
11	9	Ангасолка - Слюдянка	2	5303 км ПК10-5304 км ПК3	0,315	169	406	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
12	9	Ангасолка - Слюдянка	2	5297 км ПК8-5298 км ПК9	1,075	169	317	Р65/ДТ370ИК	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ
13	9	Ангасолка - Слюдянка	2	5266 км ПК 3-8	0,698	169	296	ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР ПШМ

Таблица 2.4 – Расположение опытных участков на Свердловской дирекции инфраструктуры

№ участка	Дистанция пути ПЧ	Наименование перегона, станции	Путь	Границы	Протяженность, км пути	Грузонапряженность 2020-21г	Участок-Радиус пути, м	Конструкция верхнего строения пути			
								тип рельсов	тип шпал	вид балласта	тип скрепления
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	Шабуничи-Чайковская	1	1388 км ПК4-1388 км ПК8	0,379	150,8	660	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР ПШР
2	1	Шабуничи-Чайковская	1	1388 км ПК9-1389 км ПК5	0,208	150,8	610	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР ПШР
3	1	Верещагино-Менделеево	1	1337 км ПК5-1337 км ПК10	0,54	150,8	637	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР-65

№ участка	Дистанция пути ПЧ	Наименование перегона, станции	Путь	Границы	Протяженность, км пути	Грузонапряженность 2020-21г	Участок-Радиус пути, м	Конструкция верхнего строения пути			
								тип рельсов	тип шпал	вид балласта	тип скрепления
4	1	Бородулино-Верещагино	1	1312 км пк5-1312 км пк10	0,617	150,8	645	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	АРС
5	1	Бородулино-Верещагино	1	1302 км пк2-1302 км пк9	0,315	150,8	840	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	АРС
6	1	Бородулино-Верещагино	1	1288 км пк6-1288 км пк9	0,3	150,8	550	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	АРС
7	1	Бородулино-Верещагино	1	1288 км пк10-1289 км пк4	0,37	150,8	540	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	АРС
8	1	Ст. Верещагино	1	1316 км пк3-1316 км пк8	0,45	150,8	629	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР-Ш

Таблица 2.5 – Расположение опытных участков на Южно-Уральской дирекции инфраструктуры

№ участка	Дистанция пути ПЧ	Наименование перегона, станции	Путь	Границы	Протяженность, км пути	Грузонапряженность 2020-21г	Участок-Радиус пути, м	Конструкция верхнего строения пути			
								тип рельсов	тип шпал	вид балласта	тип скрепления
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4	Сыростан-Флюсовая	1	1992 км пк5-1993 км пк5	0,464	97,1	522	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР ПШР
1	4	Сыростан-Флюсовая	1	1996 км пк3-7	0,53	97,1	434	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР ПШР
1	4	Сыростан-Флюсовая	1	1996 км пк8-1997 км пк3	0,561	97,1	542	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР ПШР
1	4	Флюсовая – Миасс-1	1	2001 км пк10-2002 км пк5	0,53	97,1	570	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР 65Ш
1	4	Флюсовая – Миасс-1	1	2002 км пк8-2003 км пк2	0,42	97,1	570	Р65/ДТ350	ж/б	щеб.	ЖБР 65Ш

2.2 Анализ скорости движения, профиля пути и их влияние на износ рельсов в кривых на экспериментальном участке Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры

С целью определения скоростей движения грузовых поездов статистическим способом на одном из экспериментальных участков проведен анализ скоростемерных лент. В эксперимент взят участок пути Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры – Большой Луг – Слюдянка. Были отобраны скоростемерные ленты за 22 августа 2021 г. и 23 августа 2021 г. Общая выборка включает 29 поездов в 73 шт. кривых на данном участке. Вес поездов составил от 6161 т до 7106 т. Для каждой кривой определены минимальная, максимальная и средняя скорость движения. Выполнен расчёт возвышений наружного рельса в соответствии с «Временным руководством по определению возвышений наружного рельса и допускаемых скоростей движения в кривых», утвержденным 22 августа 2009 г. №ЦПТ-44/17 [80], а также расчёт возвышений из условия отсутствия поперечного непогашенного ускорения при средней скорости движения подвижного состава. Анализ скоростемерных лент представлен в таблице 2.3.

Анализ показал, что на значительном протяжении участка Большой Луг – Слюдянка-2 средние скорости движения поездов составляют 45 – 55 км/ч, что составляет 75 – 92% от максимально допускаемой 60 км/ч. Однако средняя скорость движения поездов по отдельным кривым (5225 км – выход со ст. Большой Луг, 5303 км – участок приближения к ст. Слюдянка-2) значительно ниже и составляет 42-44 км/ч, что составляет 70-73 % от максимально допускаемой для данного участка. При этом имеется значительный разброс скоростей движения. Примеры разброса скоростей движения поездов по участку Большой Луг – Слюдянка-2 приведены на рисунках 2.1 – 2.3.

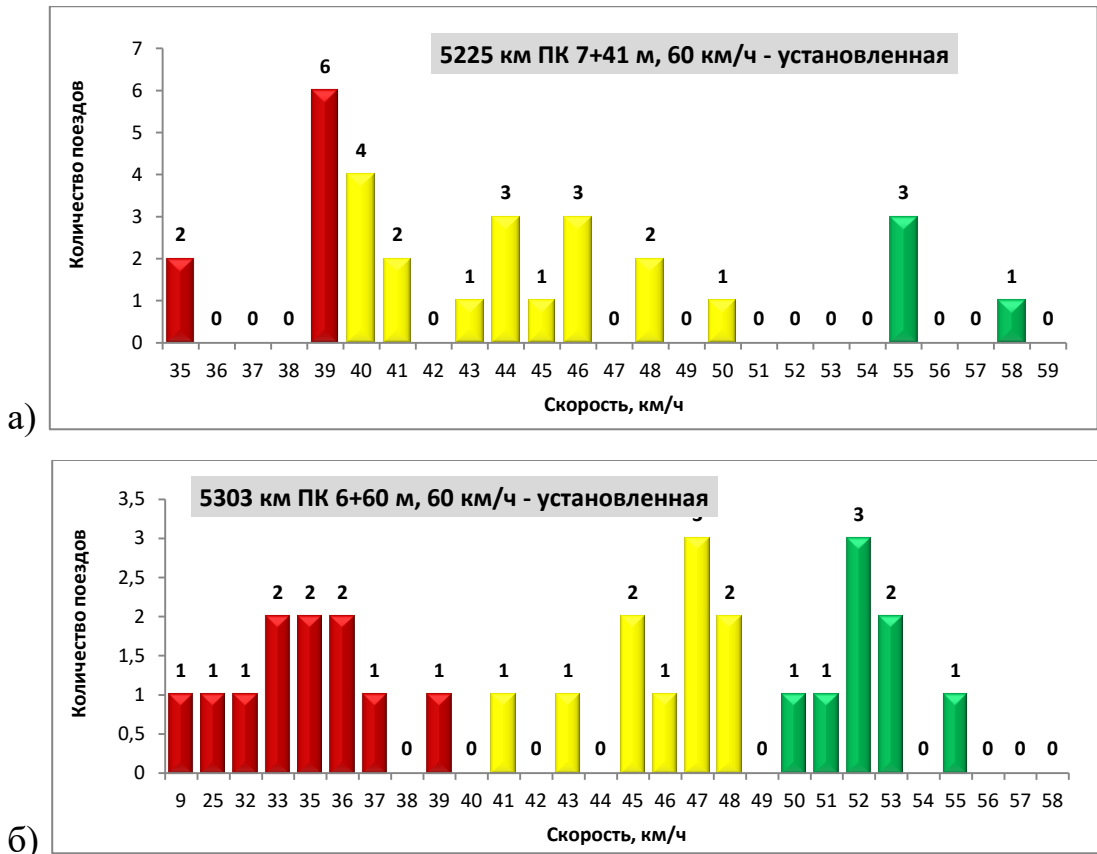


Рисунок 2.1 – Фактические реализуемые скорости в кривых участках пути на перегоне Большой Луг – Слюдянка-2

- а) 5225 км ПК 7+41
- б) 5303 км ПК 6+60

При анализе скоростей движения поездов выявлены кривые (5226-5227 км, 5231-5232 км, 5296 км), по которым средняя скорость движения близка к допустимой для исследуемого участка и составляет 50-56 км/ч, что составляет 83-93 % от максимально допустимой.

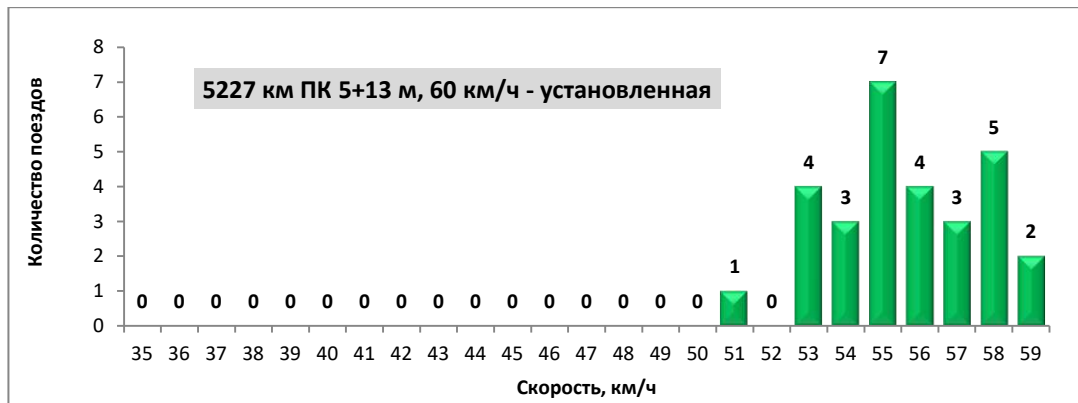


Рисунок 2.2 - Фактические реализуемые скорости в кривом участке пути перегона Большой Луг – Слюдянка-2 на 5227 км ПК 5+13 м

При этом также выявлены кривые, на которых скорости движения поездов ниже допустимой:

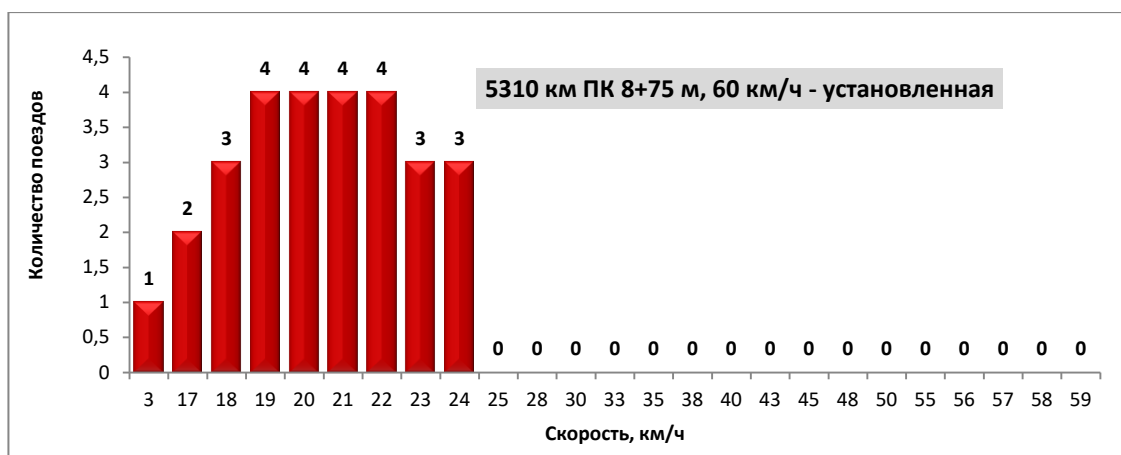


Рисунок 2.3 - Фактические реализуемые скорости в кривом участке пути перегона Большой Луг – Слюдянка-2 на 5310км ПК 8+75 м

В вышеперечисленных кривых возвышения, рассчитанные из условия отсутствия поперечного непогашенного ускорения при средней скорости движения подвижного состава, значительно выше, чем рассчитанные в соответствии с ЦПТ-44/17. [80].

По результатам анализа получены графики – рисунки 2.3 – 2.6.

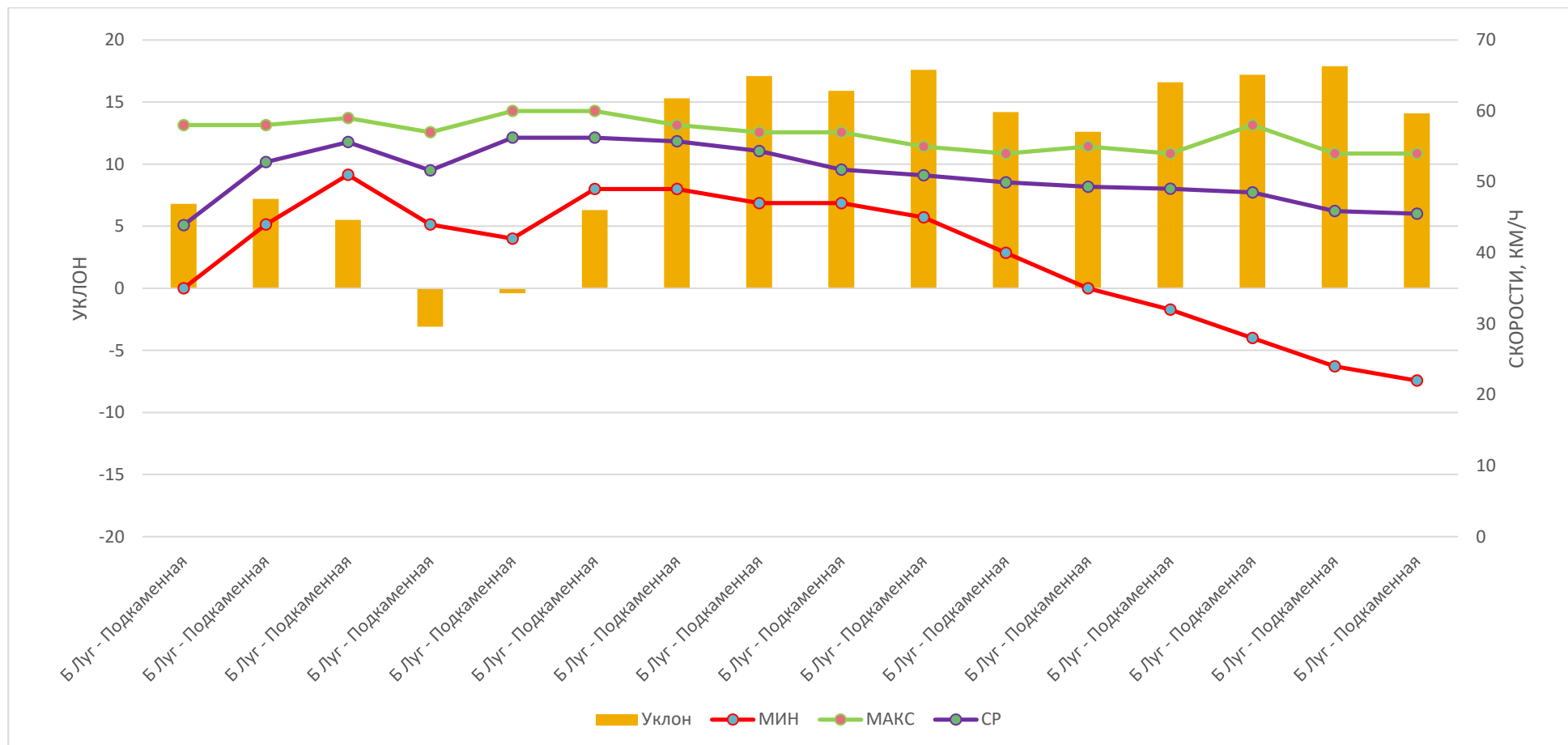


Рисунок 2.3 – Скорости по кривым на участке подъема 5225 – 5239 км

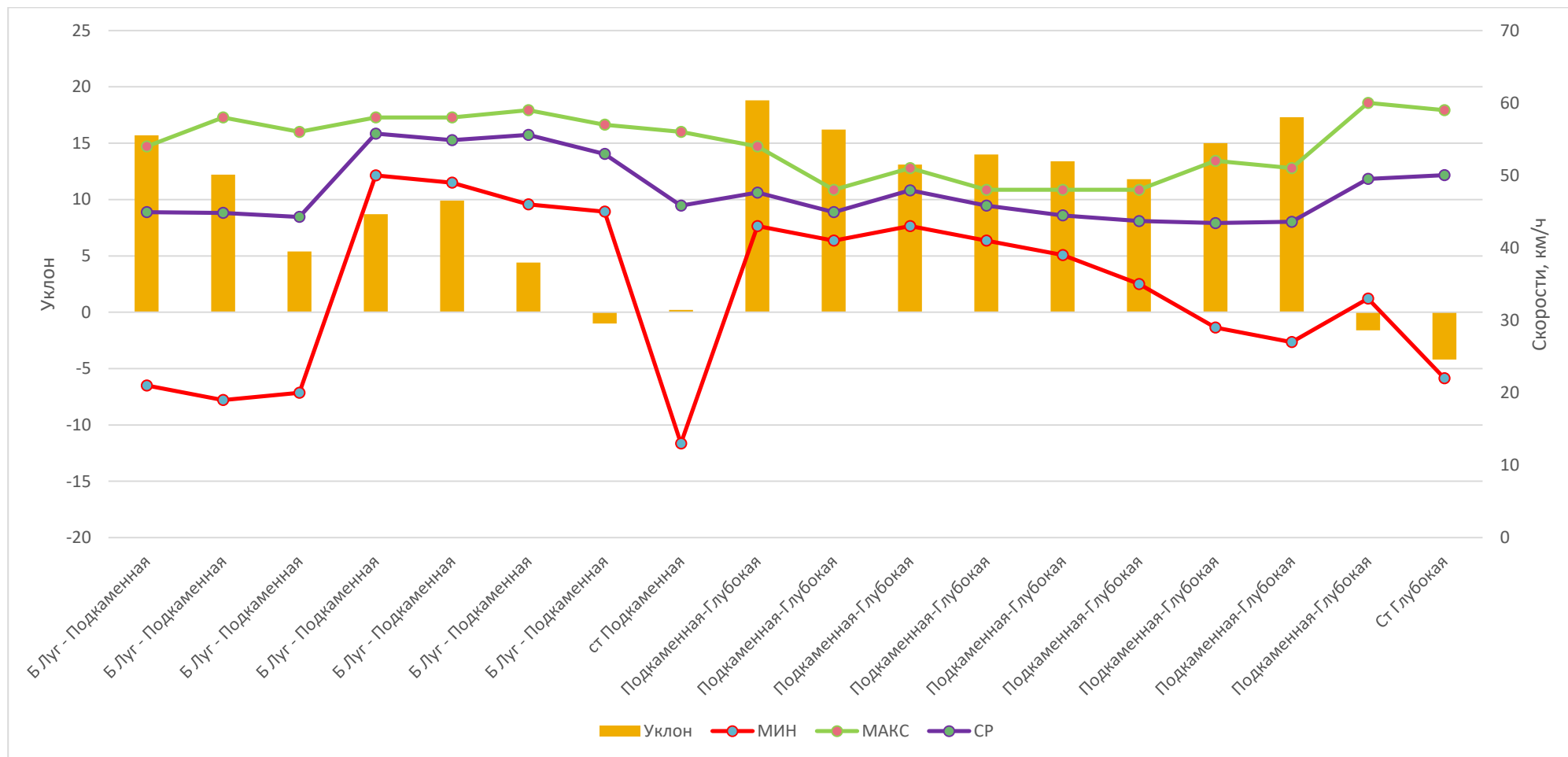


Рисунок 2.4 – Скорости по кривым на участке подъема 5240 – 5261 км

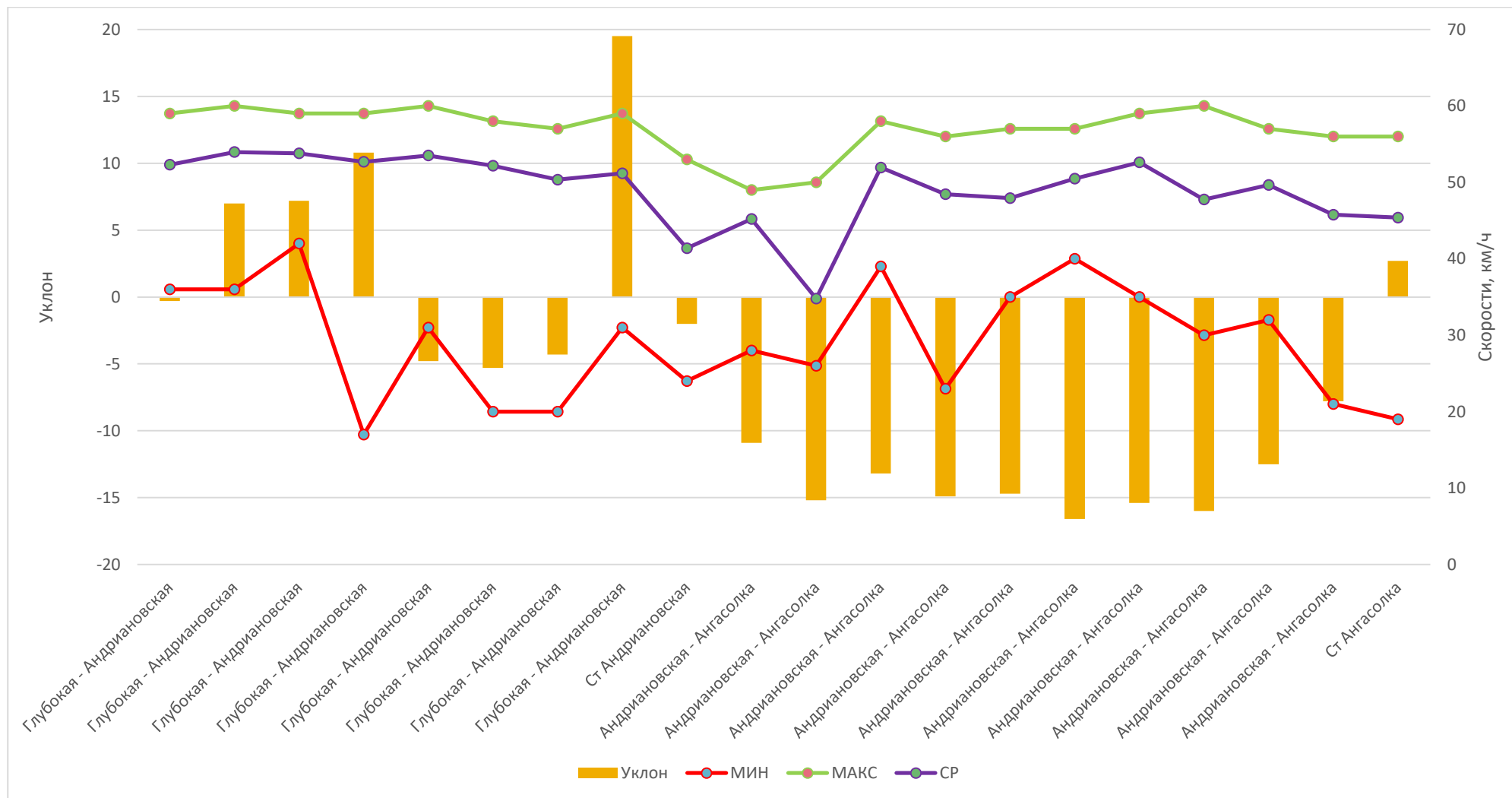


Рисунок 2.5 – Скорости по кривым на участке подъем-спуск 5262-5286 км

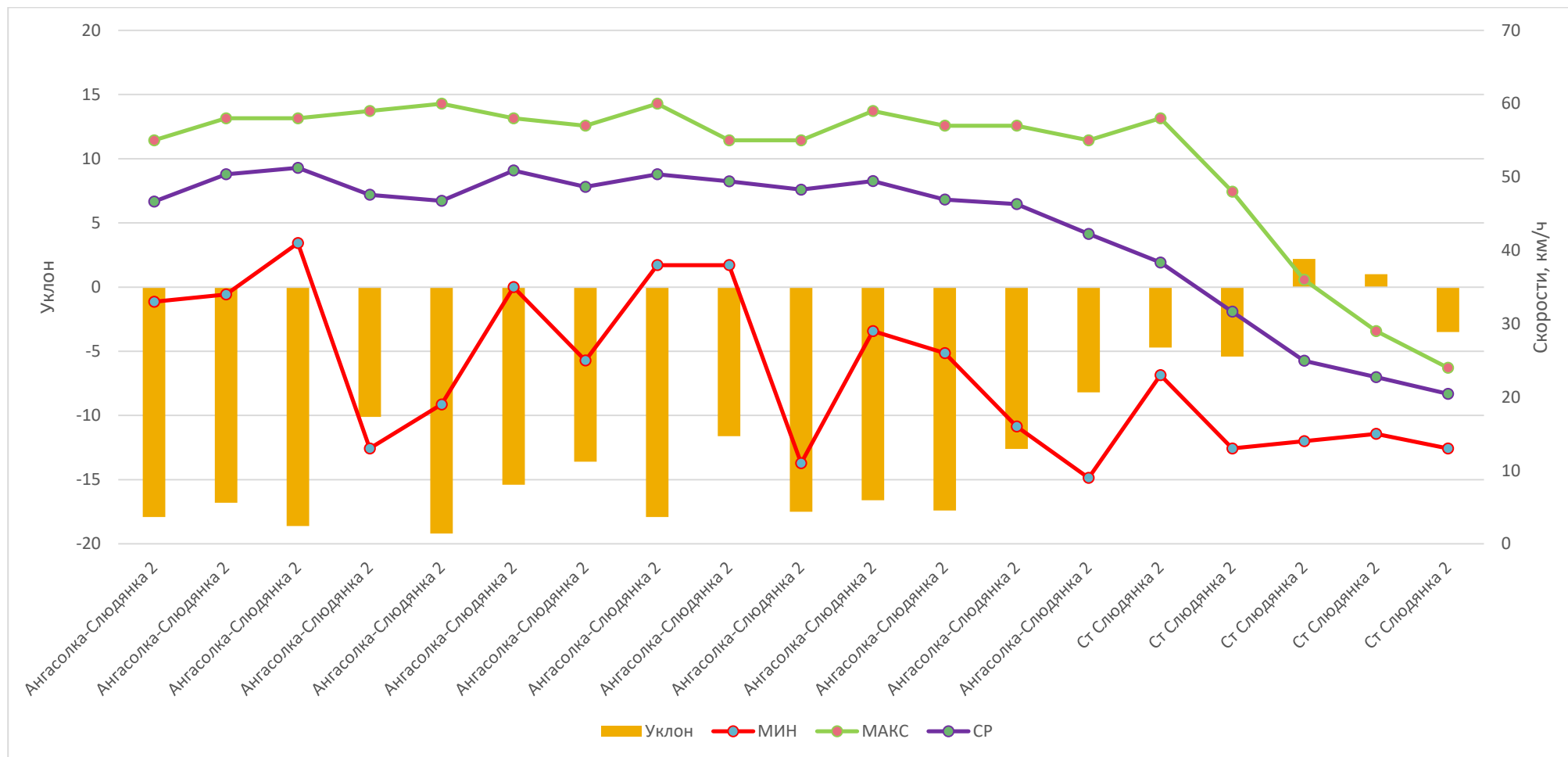


Рисунок 2.6 – Скорости по кривым на участке спуска 5287 – 5310 км

Для оценки корреляционных связей, рассмотренные кривые на участке Б. Луг – Слюдянка были сгруппированы по величине уклона профиля. Кривые на станциях из анализа были исключены.

В диапазонах уклона профиля определялось среднее значение из минимальных, средних и максимальных скоростей движения. В результате были получены следующие зависимости – рисунки 2.7 - 2.9.

Зависимости могут быть аппроксимированы полиномиальными функциями.

Таким образом, результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о том, что в кривых перевального участка Большой Луг – Слюдянка на участках спусков реализуются меньшие скорости движения, чем на участках подъемов.

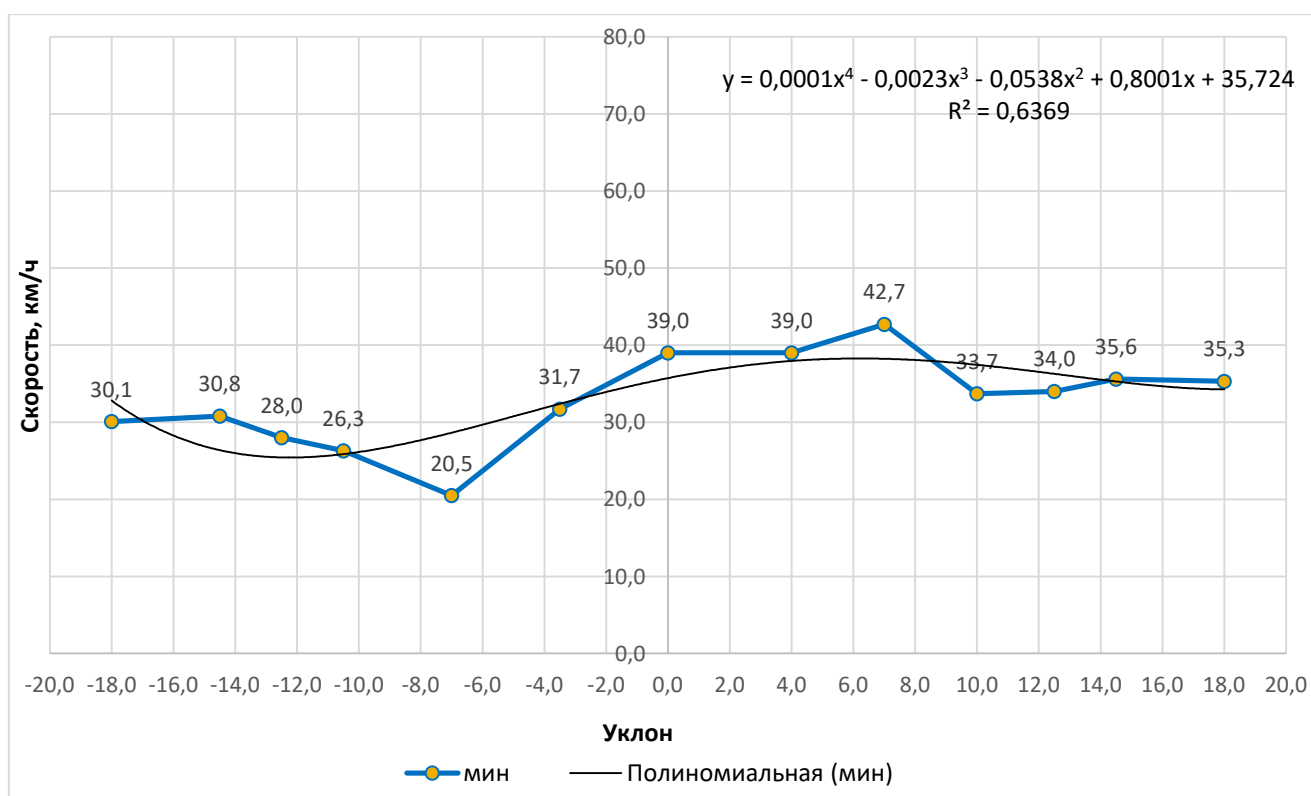


Рисунок 2.7 – Распределение минимальных скоростей движения по диапазонам уклонов

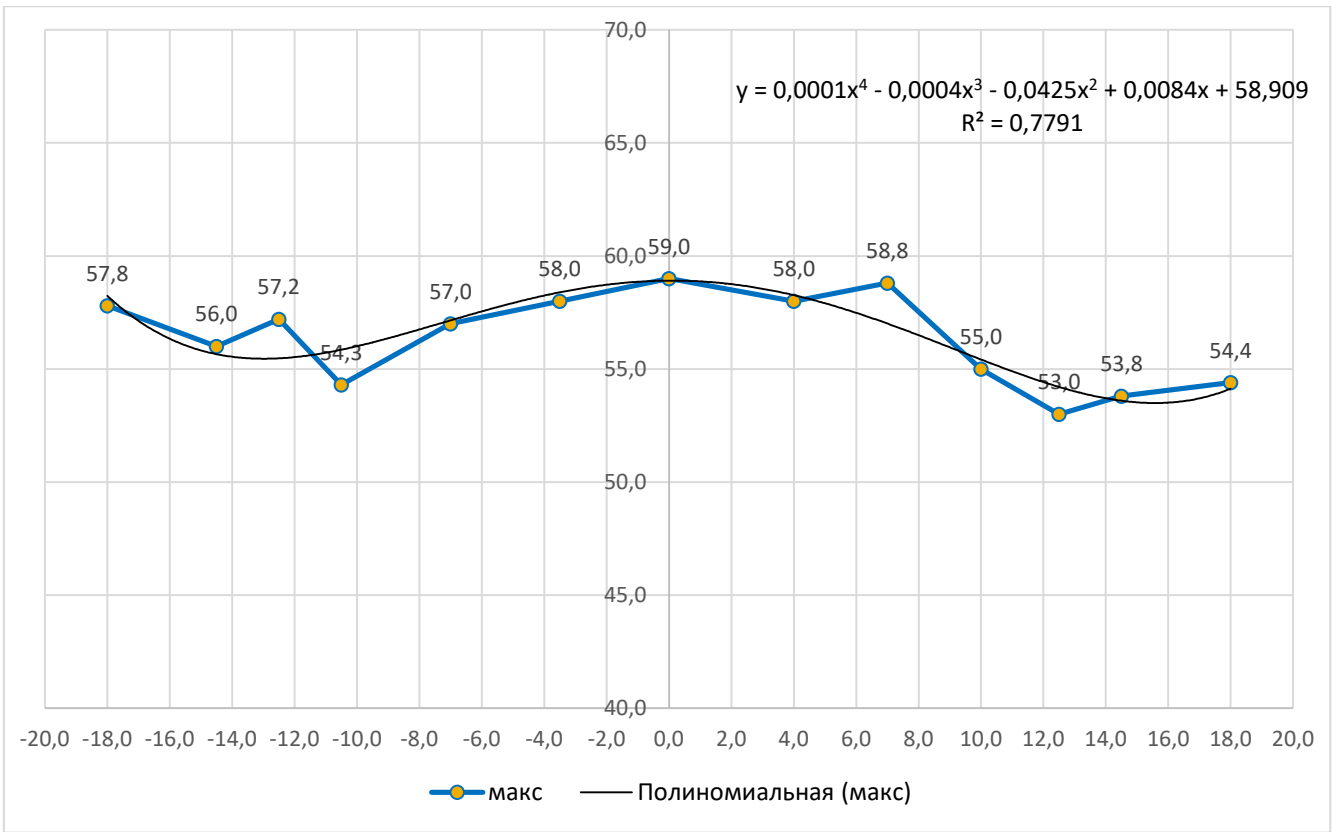


Рисунок 2.8 – Распределение максимальных скоростей движения по диапазонам уклонов

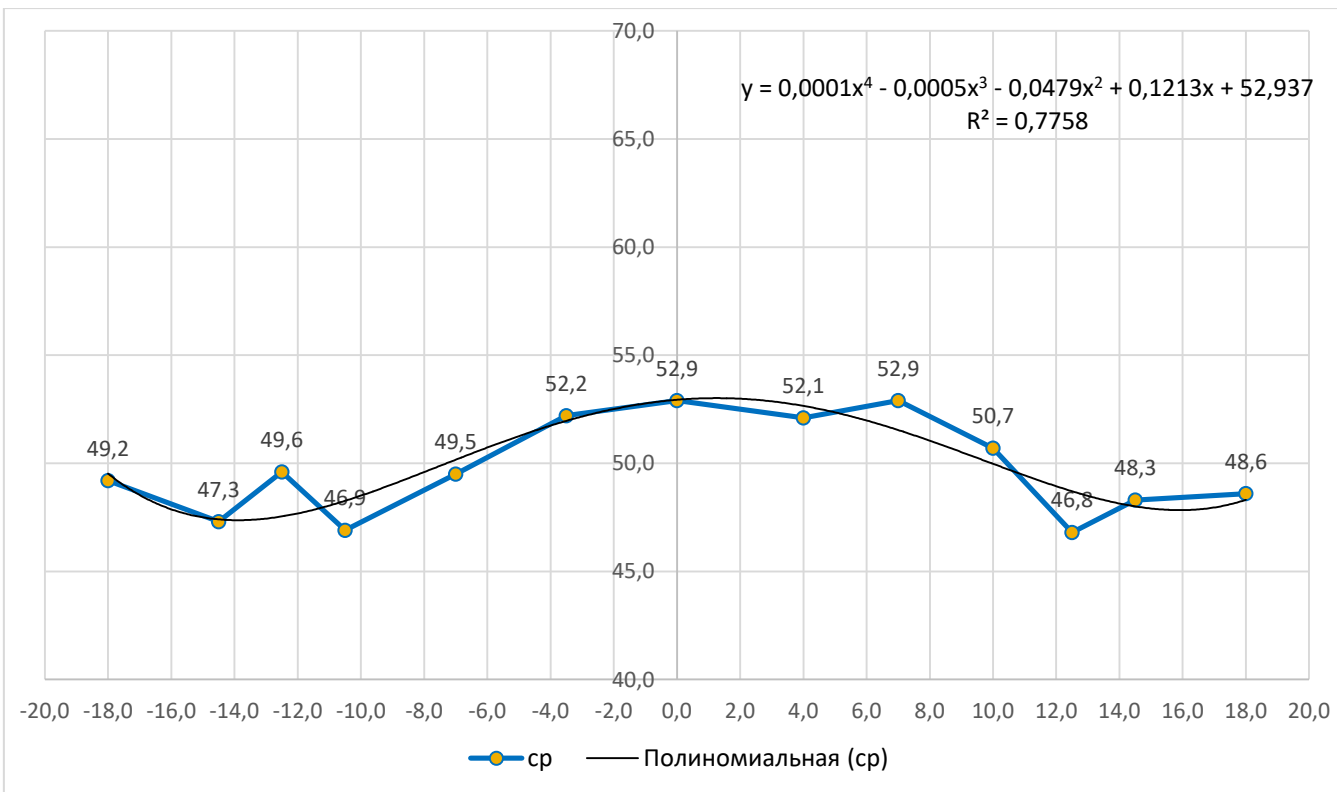


Рисунок 2.9. – Распределение средних скоростей движения по диапазонам уклонов

Для оценки разницы между фактически реализуемыми скоростями движения на участках крутых подъемов и спусков (с уклоном более 14 ‰), был проведен анализ распределения минимальной и максимальной величины реализуемой скорости в каждой группе скоростей (группа минимальных скоростей, группа максимальных скоростей и группа средних скоростей).

По результатам проведенного анализа были получены диаграммы распределения минимальной и максимальной величины реализуемой скорости в группе минимальных, максимальных и средних скоростей на подъемах и спусках круче 14‰ – рисунки 2.10-2.12.

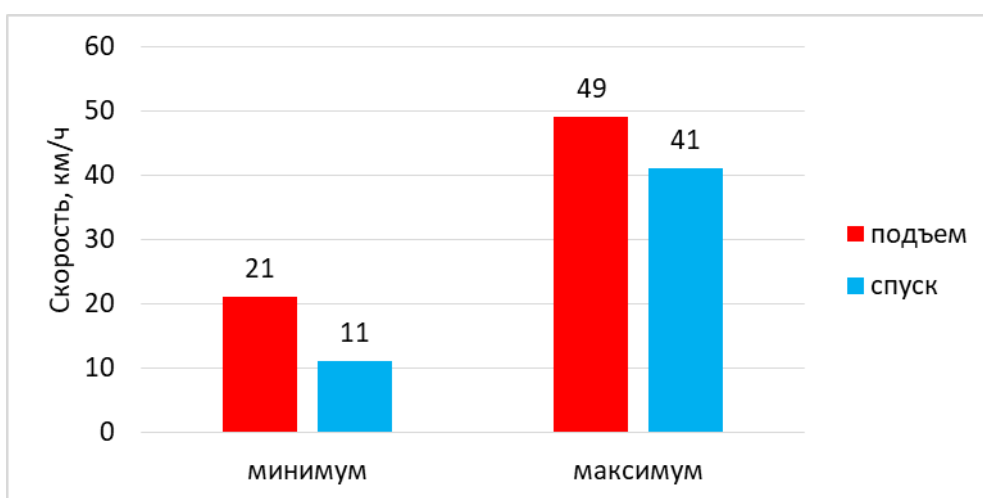


Рисунок 2.10 – Минимальные и максимальные скорости движения на подъемах и спусках круче 14‰ в группе минимальных скоростей движения

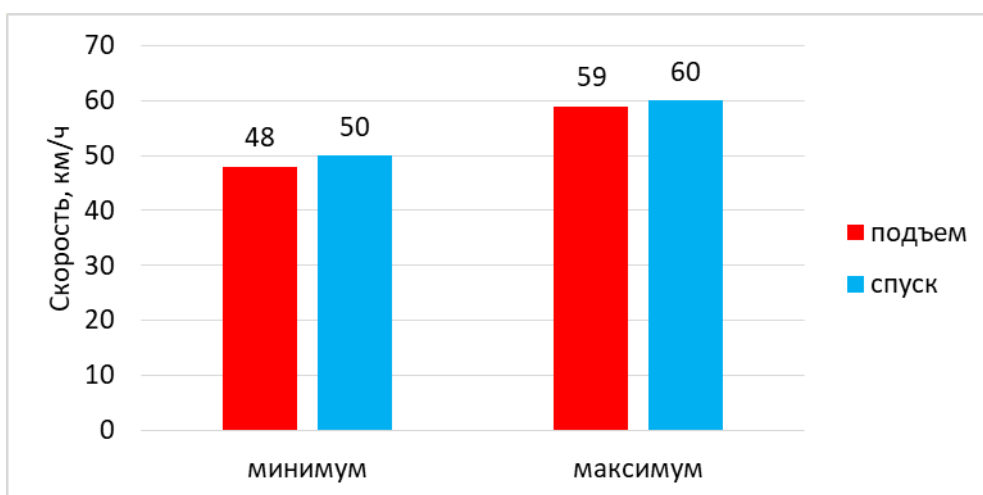


Рисунок 2.11 – Минимальные и максимальные скорости движения на подъемах и спусках круче 14‰ в группе максимальных скоростей движения

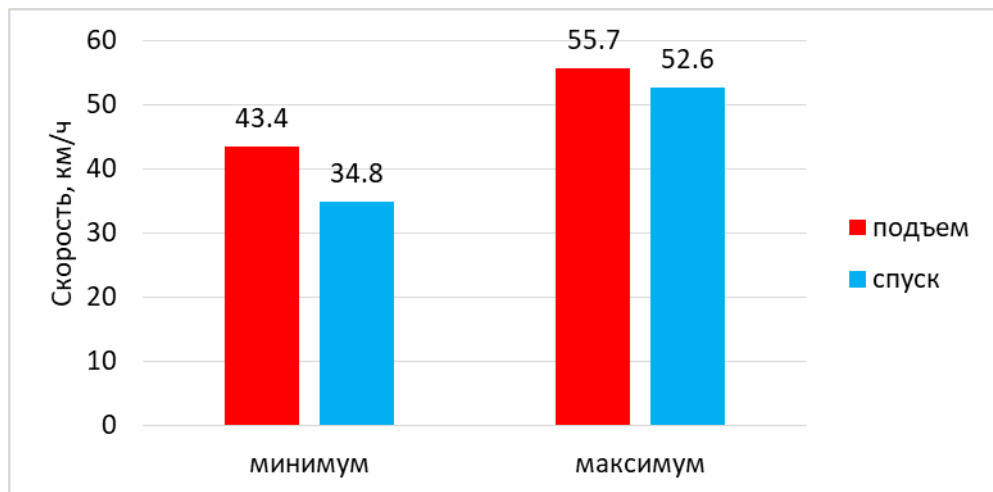


Рисунок 2.12 – Минимальные и максимальные скорости движения на подъемах и спусках круче 14‰ в группе средних скоростей движения

Проведенный анализ показал, что на спусках реализуемые скорости движения ниже, чем на подъемах, что обусловлено режимом вождения поезда.




По результатам эксперимента отмечено, что на участках, где кривые устроены с отступлениями от проекта, а также минимальные скорости грузовых поездов более чем на 20 км/ч отличаются от проектных шлифование рельсов (РШП) не обеспечивает продолжительного эффекта и в течение короткого промежутка времени (наработки 15-20 млн. т брутто) наблюдаются более интенсивные выкрашивания поверхности катания рельсов. В ходе обследования в октябре 2021 года на 6143-6142 км II главного пути ПЧ-3 Забайкальской дирекции инфраструктуры, в кривых на 1733, 1734 км ПЧ-11 Забайкальской дирекции инфраструктуры при наработке тоннажа 150-180 млн. т брутто начали наблюдаться контактно-усталостные повреждения рельсов не только по внутренним нитям, но и по наружным [81].

Контактно-усталостные повреждения рельсов преимущественно наблюдаются в кривых, где возвышение наружного рельса не обеспечивает для преобладающих скоростей грузовых поездов компенсацию непогашенного ускорения (как положительного, так и отрицательного), а также на участках с отступлениями в содержании пути (выплески, потайные просадки, отступления по подуклонке).

Таблица 2.5 – Данные скоростемерных лент

Наименование участков, перегонов, станций и путей	Дата	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	24.08.2021	24.08.2021	24.08.2021	25.08.2021	25.08.2021	25.08.2021
	Номер поезда	9666	9658	2132	2828	9510	9686	9674	2660	9698	9644	9696	9652	9508	9574	9654	2612	9670	9574	9604	9552	2904	9660	9512	9502	9632	2526	2664	2176	9602
	ФИО машиниста	Зинюшкин	Федоров	Ламонов	Еронин	Муравьев	Агеев	Васильев	Шавейко	Калинский	Москвин	Пушкарев	Ножкин	Фомин	Рязанов	Колмаков	Потоцкий	Иванов	Нелюшопов	Веслопов	Вилачев	Новичков	Томсон	Горбунов	Агафонов	Чичигин	Морозов	Олейник	Тимофеев	Ачимов
	Вес поезда	7095	7033	6256	7089	6999	7069	6272	6315	7105	6279	6161	6230	7101	7027	7058	6298	6315	7070	7106	7064	3985	6226	7049	7065	6984	6263	7076	6215	7086
5225 км 741 м	конец кривой	39	39	55	39	39	39	41	40	46	44	35	48	41	55	40	55	50	46	40	39	58	44	45	44	40	43	35	48	46
5226км 452м	конец кривой	47	47	58	46	49	57	52	55	55	54	49	57	52	55	50	56	56	55	49	51	58	55	55	55	52	53	44	56	53
5227км 513м	начало кривой	54	56	58	55	54	58	56	53	56	55	59	57	54	55	55	55	56	59	53	55	57	57	58	53	51	53	55	58	58
5228км 528м	конец кривой	51	54	49	56	47	55	54	53	49	52	54	50	46	53	54	49	51	54	49	44	51	56	54	53	57	50	50	52	50
5230км 303м	конец кривой	57	42	56	60	54	55	55	54	56	58	57	58	54	60	57	55	58	57	54	53	57	60	59	58	58	56	58	58	57
5231км 210м	конец кривой	54	49	56	60	58	60	59	60	55	57	59	57	54	57	55	57	55	58	55	53	49	56	58	57	57	52	56	58	60
5231км 975м	начало кривой	53	55	58	57	57	58	58	57	56	56	57	53	53	56	56	57	56	56	58	52	49	54	57	55	56	53	57	58	58
5232км7 73м	конец кривой	52	54	56	56	55	54	57	55	55	56	56	53	52	55	54	56	54	55	55	53	47	55	54	55	53	51	56	56	56
5233км6 01м	начало кривой	47	52	53	52	52	52	53	52	52	57	53	49	49	52	50	54	53	50	52	51	49	54	50	51	52	50	52	55	52
5234км1 26м	начало кривой	45	51	53	50	51	53	52	51	51	51	53	50	47	51	49	55	53	49	51	50	49	53	50	50	52	50	52	54	51
5235км3 34м	начало кривой	40	52	52	48	49	50	48	47	50	51	53	51	46	51	48	54	53	48	50	50	49	53	50	49	51	50	51	53	51
5236км1 51м	конец кривой	35	52	53	48	49	50	49	48	48	47	53	50	43	51	44	55	53	46	49	51	49	53	49	48	51	50	52	53	51
5236км5 55м	конец кривой	32	52	53	44	48	51	52	50	48	49	53	50	42	50	43	54	53	46	49	49	49	53	49	48	50	50	51	54	50
5237км7 60м	конец кривой	28	51	53	40	46	58	56	55	46	43	53	50	40	49	38	54	53	45	48	47	49	54	49	47	50	49	51	54	51
5238км5 65м	начало кривой	24	50	52	36	45	46	44	43	44	40	52	51	32	48	33	54	52	43	46	46	49	53	50	46	49	50	50	53	50
5239км4 31м	начало кривой	22	50	53	32	43	44	44	45	42	38	53	52	31	47	32	54	53	43	46	45	50	53	51	45	48	51	50	54	49
5240км7 09м	начало кривой	21	51	52	27	43	44	45	44	42	36	53	50	28	48	32	54	51	42	46	45	50	53	51	46	46	50	51	54	48
5241км5 61м	начало кривой	19	51	52	24	43	43	43	44	41	37	52	50	25	49	32	55	51	41	46	46	49	53	50	46	58	50	50	52	48
5242км1 71м	начало кривой	20	50	52	26	42	43	43	44	41	32	52	49	22	49	32	54	50	40	46	45	50	51	51	45	56	50	50	51	48
5243км9 20м	конец кривой	55	55	58	55	55	54	55	56	57	55	58	57	54	55	57	57	57	55	56	54	50	57	51	57	56	57	58	58	58
5244км4 17м	конец кривой	53	53	57	56	55	56	55	56	55	55	57	55	54	55	54	56	55	56	55	53	49	54	56	56	55	53	54	58	55
5246км4 68м	конец кривой	55	55	56	58	57	58	59	57	57	57	58	58	55	53	58	55	56	58	51	54	52	53	55	58	46	53	56	56	58
5247км2 3м	конец кривой	55	54	54	54	53	54	55	53	56	56	54	57	54	49	53	53	54	55	45	51	49	45	57	56	47	49	55	52	57
5248км7 9м	конец кривой	44	45	52	48	49	55	54	48	13	49	48	48	45	20	49	44	50	49	31	44	50	46	56	48	43	48	52	49	52

Наименование участков, перегонов, станций и путей	Дата	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	22.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	23.08.2021	24.08.2021	24.08.2021	24.08.2021	25.08.2021	25.08.2021	25.08.2021
	Номер поезда	9666	9658	2132	2828	9510	9686	9674	2660	9698	9644	9696	9652	9508	9574	9654	2612	9670	9574	9604	9552	2904	9660	9512	9502	9632	2526	2664	2176	9602				
	ФИО машиниста	Зинюшкин	Федоров	Ламонов	Еронин	Муравьев	Агеев	Васильев	Шавейко	Калинский	Москвин	Пушкарев	Ножкин	Фомин	Рязанов	Колмаков	Поточкий	Иванов	Нелюшопов	Веслопов	Вилачев	Новичков	Томсон	Горбунов	Агафонов	Чичигин	Морозов	Олейник	Тимофеев	Ачмов				
	Вес поезда	7095	7033	6256	7089	6999	7069	6272	6315	7105	6279	6161	6230	7101	7027	7058	6298	6315	7070	7106	7064	3985	6226	7049	7065	6984	6263	7076	6215	7086				
5282км3 9м	конец кривой	46	35	47	60	47	51	49	50	48	55	50	30	46	44	49	43	58	45	37	44	54	56	48	45	54	48	47	48	51				
5283км5 49м	конец кривой	55	53	44	44	50	51	50	52	50	54	52	32	45	50	51	44	48	49	47	51	55	53	48	49	54	43	54	55	57				
5284км6 48м	конец кривой	21	51	50	35	48	49	48	49	44	51	45	22	43	45	48	44	47	44	45	55	56	47	51	52	47	43	49	51	47				
5286км2 93м	конец кривой	19	39	48	35	47	48	47	48	48	53	44	33	41	39	49	46	50	43	38	54	48	46	50	56	45	47	52	53	50				
5287км5 95м	конец кривой	33	37	42	43	51	50	51	50	49	51	43	37	48	47	52	46	50	49	41	55	39	54	43	48	50	38	51	54	51				
5288км5 04м	конец кривой	34	56	46	58	47	48	47	47	56	53	48	51	52	57	36	53	57	55	55	40	47	58	35	57	55	45	55	55	58				
5290км9 7м	конец кривой	42	44	52	55	51	50	52	51	57	58	48	50	50	56	54	49	54	53	54	41	49	51	12	55	47	51	53	56	52				
5291км6 82м	конец кривой	48	56	43	59	45	46	45	46	56	46	52	55	50	49	43	50	57	58	41	50	48	52	38	51	47	13	47	43	46				
5292км5 71м	конец кривой	48	49	42	60	46	45	45	46	46	46	50	56	45	42	46	46	58	57	40	55	49	58	43	45	43	19	49	42	40				
5293км9 16м	конец кривой	56	35	49	58	57	56	55	56	50	55	56	39	50	53	52	52	47	46	55	40	49	54	54	54	48	39	53	54	54				
5295км5 37м	конец кривой	50	56	55	47	49	48	47	49	47	41	53	51	55	43	49	57	51	57	43	54	51	56	49	32	25	38	56	50	52				
5296км6 24м	конец кривой	56	45	57	60	52	51	53	52	54	45	57	58	56	50	51	46	49	39	52	45	53	52	46	46	43	38	49	55	51				
5297км7 61м	конец кривой	48	38	54	44	54	52	53	54	54	48	55	48	53	51	47	40	52	45	55	54	49	51	42	47	45	38	55	55	52				
5299км1 14м	конец кривой	11	50	45	55	52	52	52	51	54	47	51	44	45	48	51	44	54	51	55	52	50	55	47	49	46	36	50	52	51				
5300км6 81м	конец кривой	37	47	45	48	55	54	53	55	32	49	54	49	48	58	57	45	59	59	48	52	36	55	29	53	51	40	58	54	54				
5301км2 23м	конец кривой	26	39	47	45	50	52	51	52	36	52	56	54	50	51	42	49	53	42	33	55	34	53	33	52	55	40	51	57	51				
5302км5 90м	конец кривой	16	52	54	57	49	48	47	48	32	49	47	50	55	49	52	54	55	34	51	51	27	53	41	50	42	41	51	37	51				
5303км6 60м	конец кривой	36	45	55	45	52	51	52	50	33	33	48	37	47	53	47	53	47	9	32	41	25	35	39	46	43	35	48	36	52				
5305км5 28м	конец кривой	29	30	35	47	52	51	49	50	45	38	35	23	31	35	37	42	58	38	45	30	38	28	24	48	34	42	34	29	35				
5306км0 м	конец кривой	29	36	29	23	37	39	38	37	30	16	34	32	22	27	38	37	46	21	48	26	34	31	17	46	13	40	26	31	35				
5308км3 47м	конец кривой	28	29	21	19	26	29	27	28	21	21	29	22	23	22	31	34	31	20	36	19	24	14	19	31	15	19	25	25	36				
5310км6 63м	конец кривой	21	22	25	24	16	22	22	24	15	23	22	24	19	20	29	21	25	28	23	23	21	27	21	24	23	22	24	23	26				
5310км8 75м	конец кривой	17	20	24	23	21	19	20	22	13	22	18	23	18	17	23	20	19	23	21	21	19	24	19	22	18	21	22	20	24				

 максимальная скорость движения поезда по участку Большой Луг - Слюдянка
 средняя скорость движения поезда по участку Большой Луг - Слюдянка
 минимальная скорость движения поезда по участку Большой Луг - Слюдянка

2.3 Анализ интенсивности бокового износа рельсов в зависимости от уклона профиля, подуклонки и величины непогашенного ускорения

По результатам эксплуатационных наблюдений за контрольными участками, а также проведенного эксперимента по укладке рельсовых плетей, сваренных методом чередования из рельсов категории ДТ350 и ДТ400ИК определено, что средняя интенсивность нарастания бокового износа в кривых радиусом:

менее 350 м составила:

для рельсов категории ДТ350 – 0,089 мм/млн. т брутто в год;

для рельсов категории ДТ370ИК – 0,063 мм/млн. т брутто в год;

для рельсов категории ДТ400ИК – 0,061 мм/млн. т брутто в год.

от 350 до 650 м составила:

для рельсов категории ДТ350 – 0,084 мм/млн. т брутто в год;

для рельсов категории ДТ370ИК – 0,0255 мм/млн. т брутто в год;

более 650 м составила:

для рельсов категории ДТ350 – 0,031 мм/млн. т брутто в год.

Таблица 2.6 – Сводные данные по интенсивности бокового износа по контрольным участкам рельсов категории ДТ350, ДТ370ИК, ДТ400ИК

Категория рельсов	Дирекция инфраструктуры	Км, пк	Проведение шлифования рельсов	Интенсивность		
				Радиус менее 350 м	Радиус от 350 до 650 м	Радиус более 650 м
ДТ350	ЗАБ	6200 км пк1-5	с шлифовкой	0,054		
	ЗАБ	6201 км пк5-10	с шлифовкой	0,06		
	ЗАБ	6885 км пк5-10	без шлифовки	0,067		
	ЗАБ	7125 км пк2-10	без шлифовки	0,095		
	ЗАБ	7132 км пк4 – 7133 км пк9	без шлифовки	0,082		
	ЗАБ	7134 км пк3-10	без шлифовки	0,074		
	СВЕРД	1388 км пк4-8	без шлифовки			0,044
	СВЕРД	1388 км пк9 - 1389 км пк5	без шлифовки		0,034	
	СВЕРД	1337 км пк5-10	без шлифовки		0,033	
	СВЕРД	1312 км пк5-10	без шлифовки		0,018	
СВЕРД	1302 км пк2-9	без шлифовки			0,018	

Категория рельсов	Дирекция инфраструктуры	Км, пк	Проведение шлифования рельсов	Интенсивность		
				Радиус менее 350 м	Радиус от 350 до 650 м	Радиус более 650 м
	СВЕРД	1288 км пк6-9	без шлифовки		0,042	
	СВЕРД	1288 км пк10 – 1289 км пк4	без шлифовки		0,039	
	ЮУР	1992 км пк5 – 1993 км пк5	с шлифовкой		0,105	
	ЮУР	1996 км пк3-7	с шлифовкой		0,127	
	ЮУР	1996 км пк8 – 1997 км пк3	с шлифовкой		0,119	
	ЮУР	2001 км пк10 – 2002 км пк5	без шлифовки		0,072	
	ЮУР	2002 км пк8 – 2003 км пк2	без шлифовки		0,038	
	В-СИБ	5225 км пк8 – 5226 км пк1	с шлифовкой	0,09		
	В-СИБ	5226 км пк2-5	с шлифовкой	0,09		
	В-СИБ	5231 км пк9 – 5232 км пк6	с шлифовкой	0,103		
	В-СИБ	5290 км пк7 – 5291 км пк7	с шлифовкой	0,1		
	В-СИБ	5296 км пк7 – 5297 км пк1	с шлифовкой	0,102		
Средняя				0,089	0,063	0,031
ДТЗ70ИК	ЗАБ	6015 км пк10 – 6016 км пк4	с шлифовкой		0,012	
	ЗАБ	6023 км пк4-8	с шлифовкой		0,039	
	ЗАБ	6029 км пк3-7	с шлифовкой	0,024		
	ЗАБ	6141 км пк9 – 6142 км пк2	с шлифовкой	0,066		
	ЗАБ	6142 км пк3-8	с шлифовкой	0,08		
	ЗАБ	6142 км пк8 – 6143 км пк1	с шлифовкой	0,058		
	ЗАБ	6145 км пк7 – 6146 км пк2	с шлифовкой	0,07		
	В-СИБ	5227 км пк6 – 5228 км пк1	с шлифовкой	0,106		
	В-СИБ	5228 км пк2-6	с шлифовкой	0,089		
	В-СИБ	5296 км пк1-3	с шлифовкой	0,101		
	В-СИБ	5296 км пк4-6	с шлифовкой	0,101		
	В-СИБ	5297 км пк8 – 5298 км пк9	с шлифовкой	0,122		
	В-СИБ	5303 км пк10 – 5304 км пк3	с шлифовкой	0,107		
Средняя				0,084	0,0255	0
ДТ400ИК	ЗАБ	6200 км пк1-5	с шлифовкой	0,045		
	ЗАБ	6201 км пк5-10	с шлифовкой	0,049		
	ЗАБ	6885 км пк5-10	без шлифовки	0,056		

Категория рельсов	Дирекция инфраструктуры	Км, пк	Проведение шлифования рельсов	Интенсивность		
				Радиус менее 350 м	Радиус от 350 до 650 м	Радиус более 650 м
	ЗАБ	7125 км пк2-10	без шлифовки	0,084		
	ЗАБ	7132 км пк4 – 7133 км пк9	без шлифовки	0,07		
	ЗАБ	7134 км пк3-10	без шлифовки	0,062		
	В-СИБ	5225 км пк8 – 5226 км пк1	с шлифовкой	0,078		
	В-СИБ	5226 км пк2-5	с шлифовкой	0,079		
Средняя				0,065	0	0

Анализ интенсивности бокового износа рельсов различных категорий на участках различных групп радиусов приведен на рисунке 2.14.

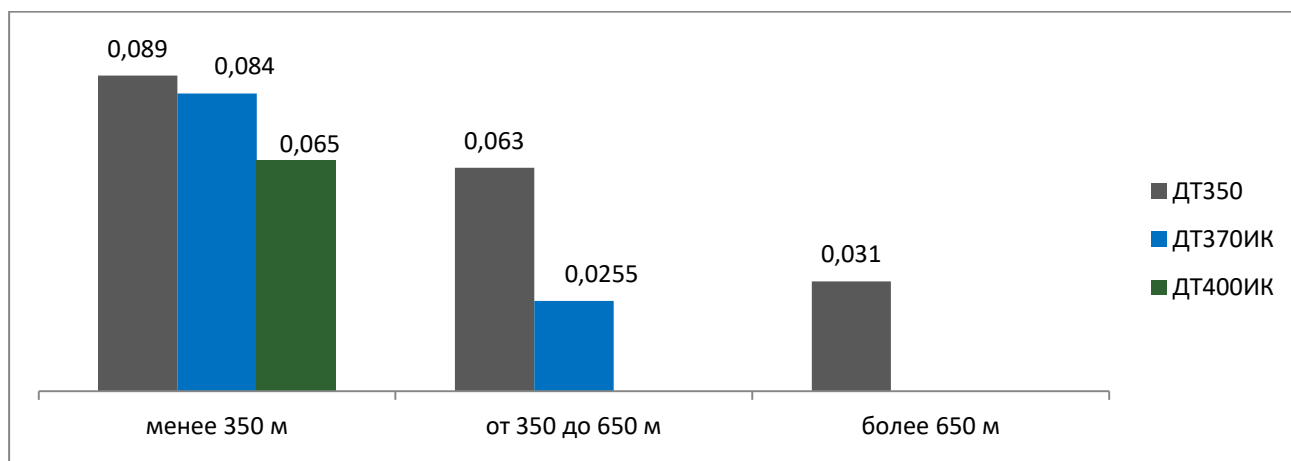


Рисунок 2.14 – Анализ интенсивности бокового износа рельсов различных категорий на участках различных групп радиусов.

По результатам эксперимента приняты результаты по 6 кривым в границах Забайкальской дирекции инфраструктуры, по которым рельсовые плети, сваренные из двух категорий были уложены по обеим нитям кривых, а также длина круговой кривой обеспечивала сравнение показателей износов по равному количеству сечений рельсов обеих категорий. По результатам проведенных испытаний эффект по износостойкости рельсов ДТ400ИК относительно ДТ350 составил:

6200 км пк 1 – 5 II главного пути – 16,86%;

6201 км пк 5 – 10 II главного пути – 17,89%;

6885 км пк 1 – 10 II главного пути – 17,51%;

7125 км пк 2 – 10 II главного пути – 11,91%;

7132 км пк 4 – 7133 км пк 9 II главного пути – 14,16%;

7134 км пк 3 – 10 II главного пути – 16,48% (рисунок 2.15).

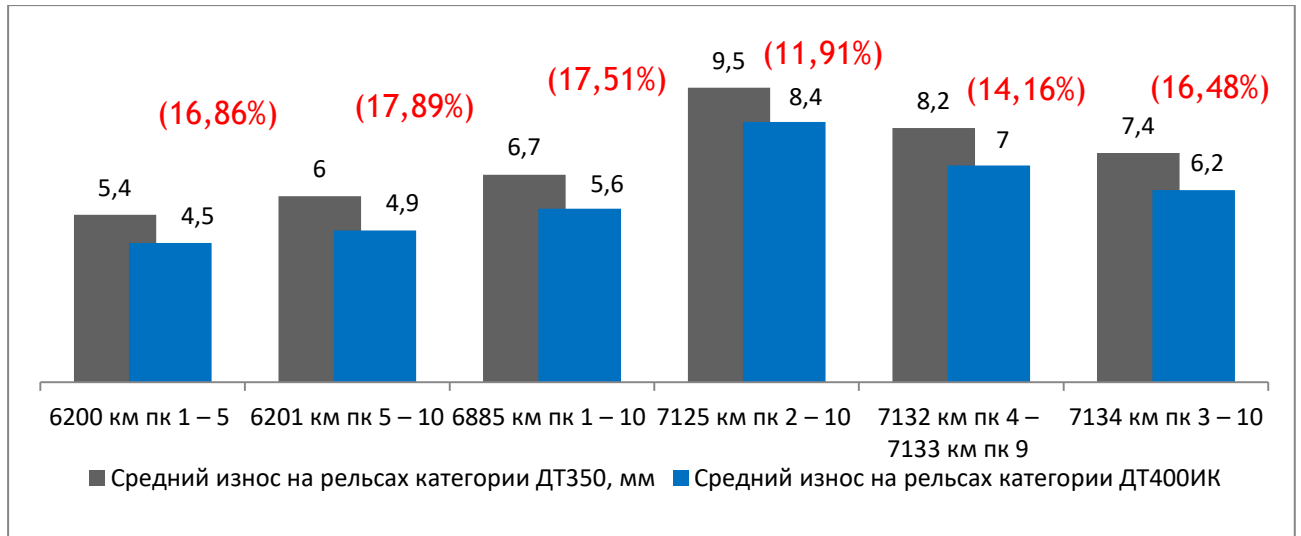


Рисунок 2.15 – Сравнение износа рельсов категории ДТ350 и ДТ400ИК по 6 контрольным участкам Забайкальской дирекции инфраструктуры по итогам эксперимента

Интенсивность бокового износа рельсов на участках эксперимента определялась в соответствии с требованием методики определения интенсивности бокового износа рельсов в кривых и элементов стрелочных переводов, утвержденной ОАО «РЖД» 12 декабря 2016 г.

Для получения объективных оценок в части выявления причин различной повреждаемости рельсов боковым износом в опытных кривых в границах Забайкальской и Восточно-Сибирской железных дорог, целесообразно использование методов множественного корреляционного анализа, позволяющих определять степени влияния различных факторных признаков на результивный признак.

При этом, степень влияния каждого признака (или их сочетания) на результивный признак различна.

В рамках исследования проводилась оценка тесноты корреляционных связей между интенсивностью бокового износа рельсов (далее – результивный признак) и следующих эксплуатационных параметров (далее – факторные признаки):

план и профиль кривой;
 уровень непогашенного ускорения в кривой;
 подуклонка рельсов.

Характеристики опытных кривых сваренных методом чередования на Забайкальской и Восточно-Сибирской железной дороги были сгруппированы по диапазонам радиусов: менее 350 м (охватывает диапазон R 300-350 м) и более 350 м (охватывает диапазон R 350-650 м). Обработка массивов данных выполнялась на базе MS Excel.

Как известно, связь между результативным признаком и указанными выше факторными признаками носит *нелинейный характер*, и, как правило, может быть описана полиномиальными функциями различных степеней.

В этом случае, целесообразно использование *нелинейных моделей парной регрессии*. Наиболее подходящим уравнением регрессии будет уравнение (2.1) параболы:

$$\hat{y}_x = a + bx + cx^2, \quad (2.1)$$

где:

\hat{y}_x – переменная, обозначающая теоретическое значение фактического значения результативного признака.

Согласно [19], для оценки тесноты связи нелинейной регрессии необходимо определить индекс корреляции (2.2):

$$r_{xy} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{xi})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.2)$$

где:

n – количество наблюдений;

$x_i; y_i$ – данные наблюдений;

\bar{y} – средние значения переменной y ;

\hat{y}_{xi} – расчетные значения переменной y , вычисленные по уравнению регрессии: $\hat{y}_x = f(x_i)$.

Индекс корреляции r принимает значения в диапазоне $0 \leq r \leq 1$.

Чем ближе величина p к единице, тем теснее связь между факторами.

Адекватность модели оценивается коэффициентом (индексом) детерминации R^2 (2.3):

$$R^2 = p_{xy}^2, \quad (2.3)$$

Коэффициент детерминации характеризует долю дисперсии результативного признака y , объясненную фактором x . В соответствие со «шкалой Чеддока», величина R^2 должна быть достаточно близка к единице ($R^2 > 0,5$), чтобы модель регрессии могла использоваться в практических целях.

В конце необходимо выполнить проверку значимости всего уравнения регрессии по F-критерию Фишера. Для этого выполняется сравнение фактического $F_{\text{факт}}$ и критического (табличного) $F_{\text{крит}}$ значений F-критерия Фишера.

$F_{\text{факт}}$ определяется из соотношения значений факторной и остаточной дисперсий, рассчитанных на одну степень свободы (2.4):

$$F_{\text{факт}} = \frac{p_{xy}^2}{1 - p_{xy}^2} * \frac{n - m - 1}{m}, \quad (2.4)$$

где:

n – число единиц совокупности;

m – число параметров при переменных.

$F_{\text{крит}}$ – максимально возможное значение критерия под влиянием случайных факторов при степенях свободы $k_1 = m$; $k_2 = n - m - 1$ при доверительной вероятности 0,95.

Если $F_{\text{крит}} < F_{\text{факт}}$, то гипотеза о случайной природе оцениваемых характеристик отклоняется и признается их статистическая значимость и надежность. В обратном случае, признается статистическая незначимость и ненадежность уравнения регрессии.

В рамках исследования было принято:

y – значения интенсивности бокового износа рельса в кривой (мм/млн т),

x_1 – значения подуклонки рельсов,

x_2 – значения величины непогашенного ускорения в кривой (м/с²);

x_3 – значения величины уклона продольного профиля (‰).

Тогда, значения индекса корреляции для интенсивности бокового износа рельса и подуклонки рельсов будет равно (2.5):

$$r_{yx1} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{x1i})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.5)$$

уравнение регрессии примет вид:

$$\hat{y}_{x1} = a + bx_1 + cx_1^2$$

Для интенсивности бокового износа рельса и величины непогашенного ускорения (2.6):

$$r_{yx2} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{x2i})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.6)$$

уравнение регрессии примет вид:

$$\hat{y}_{x2} = a + bx_2 + cx_2^2$$

Для интенсивности бокового износа рельса и уклона продольного профиля (2.7):

$$r_{yx3} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{x3i})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.7)$$

уравнение регрессии примет вид:

$$\hat{y}_{x3} = a + bx_3 + cx_3^2$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.7:

Таблица 2.7 – Результаты расчетов

	Уравнение	r	R^2	$F_{факт}$	$F_{крит}$
в кривых R < 350 м					
Интенсивность бокового износа и подуклонка рельсов	$y = 16,567x^2 - 1,9751x + 0,1158$	0,8762	0,7677	29,70	4,84
Интенсивность бокового износа и величина непогашенного ускорения	$y = 1,5898x^2 - 0,1939x + 0,1231$	0,7600	0,5776	8,20	5,99

	Уравнение	p	R^2	$F_{\text{факт}}$	$F_{\text{крит}}$
Интенсивность бокового износа и уклон профиля	$y = 0,0004x^2 + 0,0002x + 0,0714$	0,8696	0,7563	27,90	4,84
в кривых R > 350 м					
Интенсивность бокового износа и подуклонка рельсов	$y = 66,159x^2 - 4,9972x + 0,1309$	0,8934	0,7982	15,70	7,71
Интенсивность бокового износа и величина непогашенного ускорения	$y = 2,7932x^2 + 0,6056x + 0,0651$	0,7075	0,5005	8,02	5,32
Интенсивность бокового износа и уклон профиля	$y = 0,0006x^2 + 0,0012x + 0,0347$	0,9836	0,9734	146,3	7,71

В результате сравнительного анализа полученных коэффициентов детерминации были построены диаграммы распределения степени влияния различных факторных признаков на интенсивность износа рельсов (без учета лубрикации, принятой постоянной на всех участках) (рисунок 2.16):

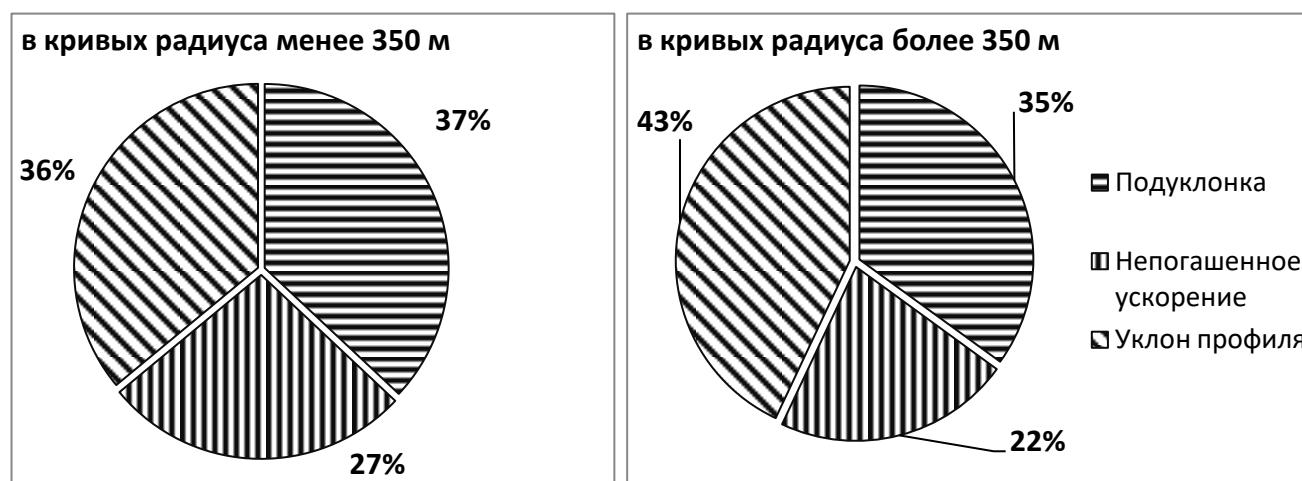


Рисунок 2.16 – Диаграммы распределения степени влияния факторных признаков (в процентном соотношении) на интенсивность износа рельсов в опытных кривых на Забайкальской и Восточно-Сибирской ж.д.

Проведенный анализ корреляционных связей показал, что в кривых радиуса менее 350 м наблюдается устойчивая корреляционная связь между интенсивностью бокового износа рельсов и влияющими на нее факторами (в большей степени подуклонки и уклона профиля). Это означает, что с ростом указанных показателей, будет увеличиваться и степень изнашивания рельсов.

В кривых радиуса более 350 м в большей степени на интенсивность износа рельсов оказывает влияние фактор уклона профиля – на крутых подъемах и спусках, очевидно, изнашиваемость рельсов интенсивнее, ввиду применения экстремальных режимов вождения грузовых поездов.

Влияние подуклонки рельсов и непогашенного ускорения по уровню значимости аналогично кривым радиуса менее 350 м.

Полученные коэффициенты детерминации (в среднем 0,7) указывают на то, что в данных моделях на интенсивность износа также оказывают влияние дополнительные неучтенные эксплуатационные факторы.

Ниже представлены экспериментальные зависимости, полученные в результате обработки массива опытных данных.

На рисунках 2.17 – 2.18 показаны зависимости интенсивности бокового износа рельсов и подуклонки рельсов, полученные в кривых радиуса менее 350 м и более 350 м.

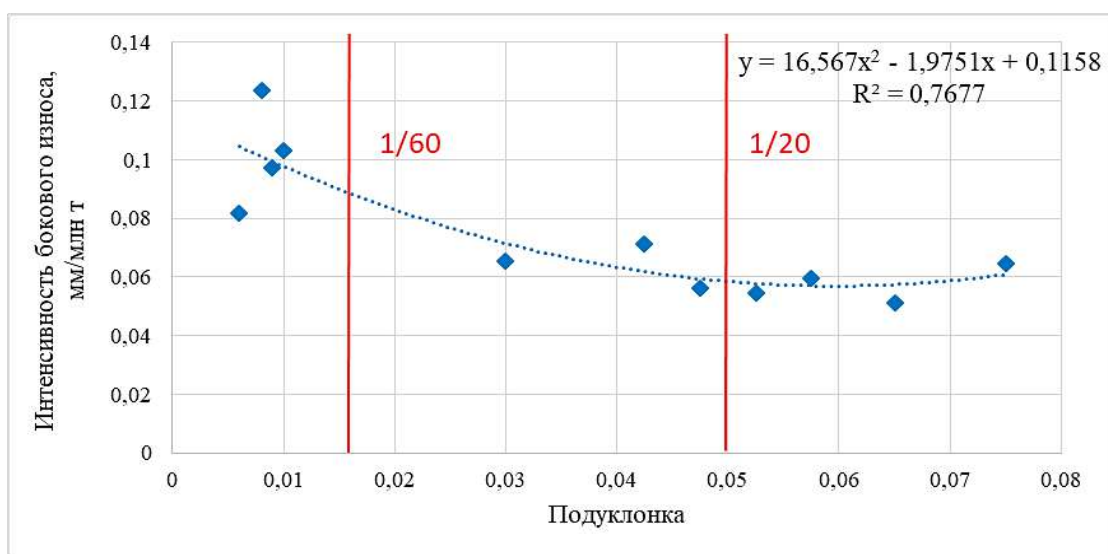


Рисунок 2.17 – Зависимость интенсивности износа рельсов от подуклонки в кривых радиуса менее 350 м.

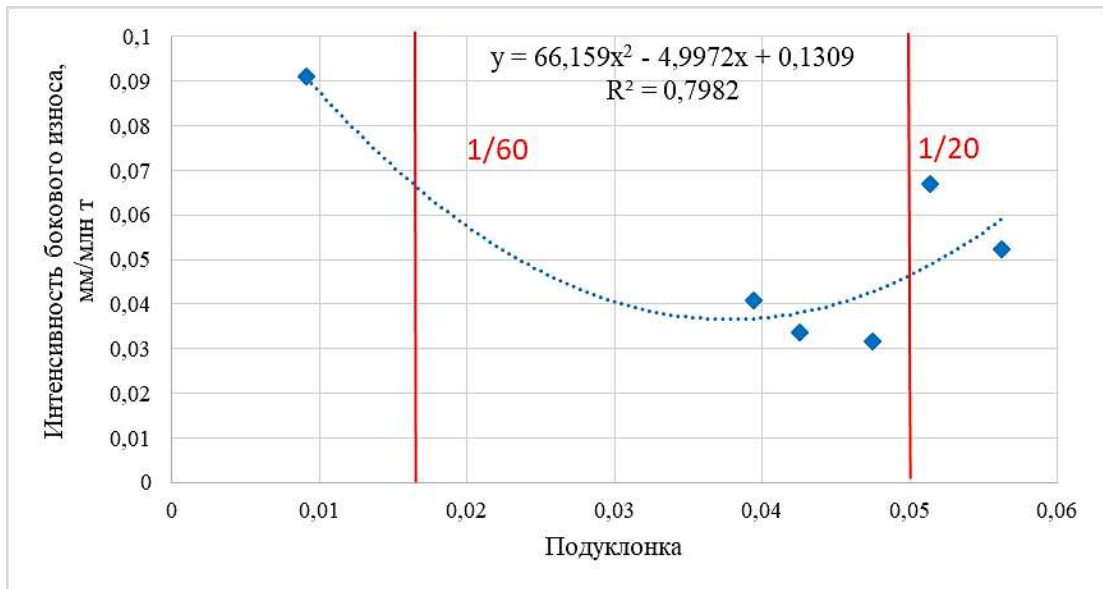


Рисунок 2.18 – Зависимость интенсивности износа рельсов от подуклонки в кривых радиуса более 350 м.

На рисунках 2.19-2.20 показаны зависимости интенсивности бокового износа рельсов и непогашенного ускорения, полученные в кривых радиуса менее 350 м и более 350 м.

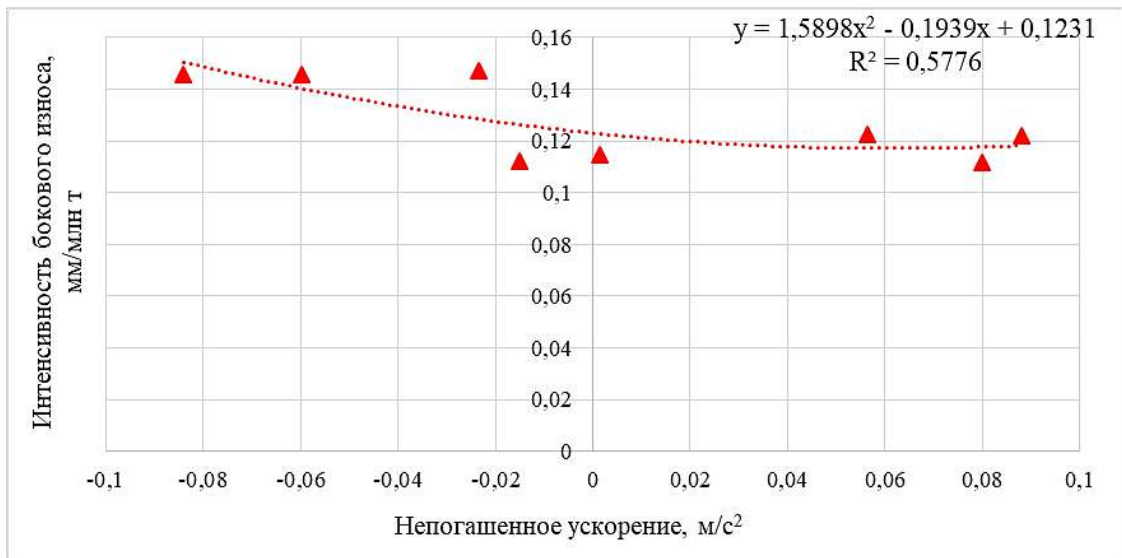


Рисунок 2.19 – Зависимость интенсивности износа рельсов от непогашенного ускорения в кривых радиуса менее 350 м

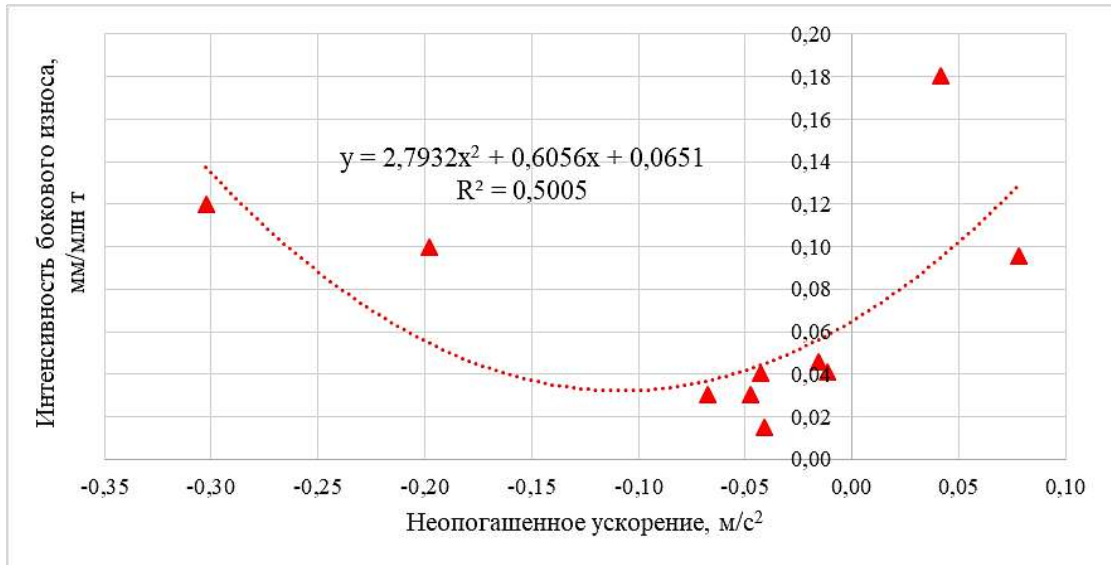


Рисунок 2.20 – Зависимость интенсивности износа рельсов от непогашенного ускорения в кривых радиуса более 350 м

На рисунках 2.21-2.22 показаны зависимости интенсивности бокового износа рельсов и уклона профиля, полученные в кривых радиуса менее 350 м и более 350 м.

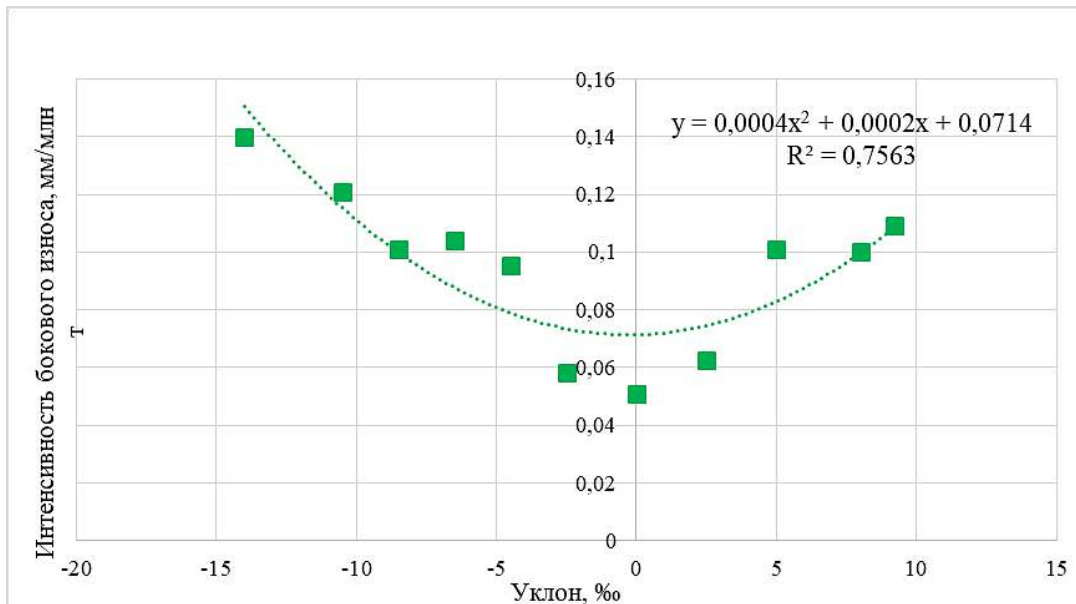


Рисунок 2.21 – Зависимость интенсивности износа рельсов от уклона профиля в кривых радиуса менее 350 м

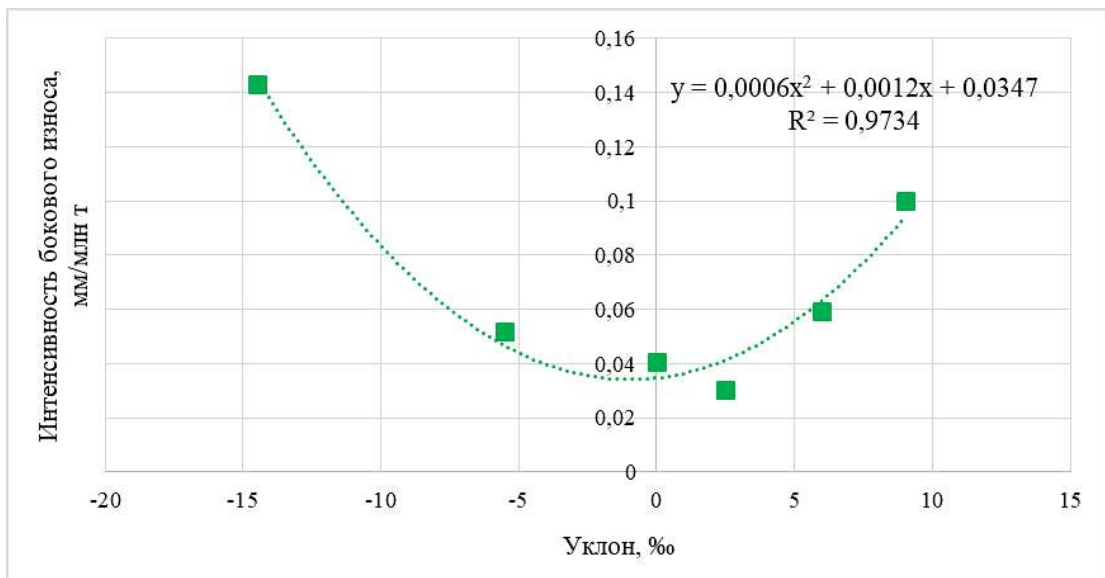


Рисунок 2.22 – Зависимость интенсивности износа рельсов от уклона профиля в кривых радиуса более 350 м

Полученные зависимости указывают на существование тесных корреляционных связей между интенсивностью бокового износа рельсов и факторными признаками, что подтверждает проведенные выше расчеты.

Анализ зависимостей на рисунках 2.17-2.22 позволяет вывести следующие закономерности:

Существует тенденция к увеличению интенсивности износа рельсов при отклонениях подуклонки рельсов от нормального значения $1/20$ как в сторону разуклонки, так и переуклонки.

Функция:

$$y = f(x_2) \rightarrow 0$$

при $a_{\text{нп}} = -0,1 \dots + 0,1 \text{ м/с}^2$.

То есть возвышение наружного рельса в кривых на участках грузового движения с высокой грузонапряженностью, целесообразно определять из условия движения с непогашенным ускорением $a_{\text{нп}} \sim 0 \text{ м/с}^2$, с целью минимизации воздействия подвижного состава на путь и снижения бокового износа рельсов.

Максимальная интенсивность износа рельсов наблюдается в кривых, расположенных на уклонах круче 10% , что может быть объяснено увеличением

силового воздействия на путь со стороны подвижного состава на таких участках.

2.3.1 Статистический анализ значимости различий средних значений по t-критерию Стьюдента

Целью эксперимента является статистическая оценка различий между величиной бокового износа рельсов различных категорий (ДТ350 и ДТ370 ИК/ДТ400 ИК) в кривых, уложенных на участках Восточно-Сибирской и Забайкальской железных дорог.

Проведенный статистический анализ направлен на выявление случайности (разница между средними незначительна и может являться случайной ошибкой эксперимента) или неслучайности (разница между средними достаточно большая) возникающих различий в величине бокового износа в зависимости от вышеприведенных условий.

Для этого рассчитывался t-критерий Стьюдента [Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента: Справочное руководство. – Москва: Наука, 1971. – 192с.] по формуле (2.8):

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}, \quad (2.8)$$

Где:

x_1, x_2 - средние значения результатов измерений в первой и второй выборке;

δ_1, δ_2 – среднеквадратические отклонения в соответствующих выборках;

n_1, n_2 – объем первой и второй выборки, соответственно.

Число степеней свободы определялось по формуле (2.9):

$$k = n_1 + n_2 - 2, \quad (2.9)$$

Критическое значение t -критерия Стьюдента $F_{кр}(P, k)$ (где P – вероятность наступления события, k – число степеней свободы) определялось по Таблице критических значений t -критерия Стьюдента.

Если рассчитанное значение t -критерия Стьюдента равно или больше критического, найденного по таблице, делаем вывод о статистической значимости различий между сравниваемыми величинами.

Если значение рассчитанного t -критерия Стьюдента меньше табличного, значит различия сравниваемых величин статистически не значимы.

Анализ проводился при следующих условиях:

1. Анализировался боковой износ наружной нити кривой;
2. Отбирались участки с рельсами, уложенными на наружной нити методом чередования;
3. Опытные кривые делились на диапазоны по условиям эксплуатации: по тоннажу, по радиусу, по уклону профиля;

Ниже представлены результаты расчета, полученные для группы кривых со следующими параметрами:

радиусы менее 350 м;

профиль: подъем более 5,3‰;

пропущенный тоннаж: 122-140 млн т.

1. Расчет t -критерия Стьюдента для рельсов, уложенных в кривых (с учетом вышеприведенных условий) Восточно-Сибирской и Забайкальской ж.д. (суммарно).

Таблица 2.8 – Исходные данные

	ДТ350	ДТ370 ИК/ДТ400 ИК
Объем выборки (количество точек ручных промеров) n_1, n_2	47	52
Среднее x_1, x_2 в каждой выборке	10,54255	9,125
СКО δ_1, δ_2 в каждой выборке	2,108316	2,015791

$$t = \frac{10,543 - 9,125}{\sqrt{\frac{2,11^2}{47} + \frac{2,02^2}{52}}} = 3,67$$

Количество степеней свободы:

$$k = 47 + 52 - 2 = 97$$

При количестве степеней свободы $k = 97$ и $P = 0,01$ (P - вероятность наступления события 99%) в таблице критических значений t-критерий Стьюдента равен 2,6274678.

Таким образом,

$F_{кр} = 2,6274678 < 3,67$, разница статистически значима.

2. Расчет t-критерия Стьюдента для рельсов, уложенных в кривых (с учетом вышеприведенных условий) Восточно-Сибирской ж.д.

Таблица 2.9 – Исходные данные

	ДТ350	ДТ370ИК/ДТ400ИК
Объем выборки (количество точек ручных промеров) n_1, n_2	18	22
Среднее x_1, x_2 в каждой выборке	11,17778	9,736364
СКО δ_1, δ_2 в каждой выборке	1,92341	1,613169

$$t = \frac{11,18 - 9,174}{\sqrt{\frac{1,92^2}{18} + \frac{1,61^2}{22}}} = 2,52$$

Количество степеней свободы:

$$k = 18 + 22 - 2 = 38$$

При количестве степеней свободы $k = 38$ и $P = 0,01$ (P - вероятность наступления события 99%) в таблице критических значений t-критерий Стьюдента равен 2,7115576.

Таким образом,

$F_{кр} = 2,7115576 > 2,52$, разница статистически не значима.

3. Расчет t-критерия Стьюдента для рельсов, уложенных в кривых (с учетом вышеприведенных условий) Забайкальской ж.д.

Таблица 2.10 – Исходные данные

	ДТ350	ДТ370 ИК/ДТ400 ИК
Объем выборки (количество точек ручных промеров) n_1, n_2	29	31
Среднее x_1, x_2 в каждой выборке	10,14828	8,715161
СКО δ_1, δ_2 в каждой выборке	2,121746	2,05251

$$t = \frac{10,15 - 8,72}{\sqrt{\frac{2,12^2}{29} + \frac{2,05^2}{31}}} = 2,65$$

Количество степеней свободы:

$$k = 29 + 31 - 2 = 58$$

При количестве степеней свободы $k = 58$ и $P=0,01$ (P - вероятность наступления события 99%) в таблице критических значений t-критерий Стьюдента равен 2,6632870.

Таким образом,

$F_{кр} = 2,6632870 > 2,65$, разница статистически не значима.

Вывод:

При анализе выборки большого объема (суммарно кривые Восточно-Сибирская и Забайкальская ж.д.) разница между категориями рельсов по t-критерию Стьюдента – статистически значима, что может быть обусловлено влиянием различных условий эксплуатации на дорогах.

При более детальном анализе (отдельно участки на Восточно-Сибирской и Забайкальской ж.д.) разница статистически не значима.

Для получения более точных результатов, необходимо увеличить объем выборки и провести эксплуатационные наблюдения по изменению величины бокового износа рельсов при наработке тоннажа в кривых, находящихся в

идентичных условиях эксплуатации без проведения работ по текущему содержанию пути.

В ходе эксплуатационных наблюдений по контрольным участкам Восточно-Сибирской и Забайкальской дирекций инфраструктуры установлено, что в период приработки, при наработке пропущенного тоннажа 40-80 млн. тонн брутто на внутренних нитях кривых рельсов всех категорий наблюдаются выкрашивания на поверхности катания с развитием контроленепригодности (код дефекта 19) и кода дефекта 12.2 [62, 66, 81].

При обследовании участков в январе, мае и октябре 2021 года измерены глубина выкрашивания рельсов. Трещины на поверхности рельсов зарождаются в результате сочетания высоких вертикальных нагрузок и горизонтальных растягивающих сил.

Эксплуатационные наблюдения за участками позволили определить отдельные закономерности и сделать выводы о причинах повреждений рельсов и эффективности их эксплуатации, а также позволили отследить этапы развития выкрашиваний рельсов по внутренним нитям – появление темных пятен на рельсах, появление коротких рифлей (100-150 мм длиной) небольшой глубиной до 1-1,5 мм и далее выкрашивание в нижней части волны. По анализу полученных данных эксплуатационных наблюдений за контрольными участками интенсивность выкрашивания поверхности катания рельсов по внутренним нитям происходит с одной интенсивностью не зависимо от категории рельсов.

В ходе обследования участков Забайкальской и Восточно-Сибирской дирекций инфраструктуры установлено, что скорость развития выкрашиваний поверхности катания рельсов по внутренним нитям кривых зависит не только от осевой нагрузки и грузонапряженности, но и от различных дополнительных факторов: дефекты поверхности катания колесных пар, дополнительные увлажнения рельсов (нарушение гидроизоляции в тоннеле), повышенные динамические воздействия в зоне сварных стыков и прочие), участки с более жестким подрельсовым основанием (6885 км пк1-10 ПЧ-9 Забайкальская

дирекции инфраструктуры – при осмотре в январе 2021 года по внутренним нитям было уложено скрепление ЖБР-ПШМ с металлической подкладкой и наблюдалось интенсивное выкрашивание поверхности катания рельсов, после сплошной замены промежуточных скреплений по внутренней нити на ЖБР-ПШР с полимерной подкладкой интенсивность выкрашиваний резко снизилась и наблюдалось закатывание ранее образованных выкрашиваний).

В ходе обследования в октябре 2021 года на 6143-6142 км II главного пути ПЧ-3 Забайкальской ДИ, в кривых на 1733, 1734 км ПЧ-11 Забайкальской ДИ при наработке тоннажа 150-180 млн. т брутто начали наблюдаться контактно-усталостные повреждения рельсов не только по внутренним нитям, но и по наружным нитям. Отмечено, что на участках, где кривые устроены с отступлениями от проекта, а также минимальные скорости грузовых поездов более чем на 20 км/ч отличаются от проектных шлифование рельсов (РШП) не обеспечивает продолжительного эффекта и в течение короткого промежутка времени (наработки 15-20 млн. т брутто) наблюдаются более интенсивные выкрашивания поверхности катания рельсов [81].

По результатам проведенных эксплуатационных наблюдений в опытных кривых радиуса 300-625 м на Забайкальской и Восточно-Сибирской ж.д., были получены следующие выводы:

В процентном соотношении, влияние факторных признаков (уклона профиля, подуклонки рельсов и величины непогашенного ускорения) на результативный признак (интенсивность износа рельсов), распределяется следующим образом:

уклон профиля (степень влияния составляет 36-43% в зависимости от радиуса кривой);

подуклонка рельсов (35-37%);

величина непогашенного ускорения (22-27%).

Поскольку управляемыми факторами являются величина непогашенного ускорения ($a_{нп}$) и подуклонка рельсов, по результатам проведенного анализа для снижения интенсивности бокового износа рельсов на участках с высокой

грузонапряженностью рекомендуется:

устанавливать возвышение наружного рельса в кривых по условию движения грузовых поездов с $a_{\text{нп}} \sim 0 \text{ м/с}^2$;

планировать работы по исправлению подуклонки с приближением к нормативу 1/20.

2.3.2 Результаты промеров и стабильность пути

Проблема оценки натурального положения пути актуальна на всей сети ОАО «РЖД» и особо остро она проявляется на участках пути в кривых, требуя более тщательного исследования. Для решения поставленной задачи требуется создание дополнительной системы оценки положения пути в плане и разработка параметров такой оценки.

Исторически сложилось, что на линиях ОАО «РЖД» содержание кривых осуществляется по стрелам прогиба [2] в отличие от зарубежной практики, где содержание участков пути в кривых базируется на приведении к проектному первоначальному положению согласно нормам [21]. Содержание кривых участков пути с периодичной паспортизацией существующего состояния, а не возвращение к изначальному проектному положению приводит расстраиванию кривых в плане. Как отмечалось в работе [22, 23] приведение кривых в проектное положение и последующая паспортизация на отечественных железных дорогах в настоящее время имеет ряд нерешенных проблем, что в свою очередь приводит к появлению большого количества «временно паспортизированных» кривых (согласно нормам [24], по контролю состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами). Это обусловлено с одной стороны, широким применением при производстве работ метода сглаживания, а с другой – использованием при расчетах сдвигов принципа «минимальной суммы сдвигов», что фактически означает узаконивание расстроенного положения кривых.

В современных условиях все больший объем работ по ремонту и текущему содержанию участков пути в кривых выполняется механизированным – автоматизированным, способом. При этом, принимая во внимание большое количество кривых с временной паспортизацией кривых, усиливается необходимость в дополнении существующих критериев оценки положения кривой в плане нормативами отклонений от проектного положения [25-27]. В случае отсутствия проекта кривой требуется разработка системы определения базового положения пути. Для этого на основании параметров натурального положения кривой в пути необходимо произвести расчет по оптимизации параметров устройства кривых с учетом допускаемых величин непогашенного ускорения [28-30]. При текущем содержании пути производство работ по выправке «расстроенных» кривых во многих случаях затруднительно в связи с отсутствием проекта. В этом случае необходимо определение базового положения кривой.

В кривых малого радиуса и на длинных участках в сложных условиях (затрудненного обзора, стеснённого габарита и т.д.) усложняются условия промеров кривых, что также способствует формированию многорадиусности при дальнейшей паспортизации кривой.

Приоритетными задачами при решении этой проблемы являются:

определение «базового» положения кривой, от которого определяются отклонения;

оценка величин отклонений от базового положения;

разработка предложений по формированию допускаемых величин этих отклонений.

За базовое положение кривой может быть принято:

положение по проекту или установившиеся после выполнения путевых работ;

положение, полученное в результате расчета выправки кривой одним из сертифицированных расчетных методов [41].

2.3.3 Оценка фактических отклонений точек кривой от базового положения

Оценка фактического отклонения точек кривой от базового положения может быть выполнена по данным специальной обработки показаний датчиков мобильных средств диагностики (МСД), по результатам тахеометрической съемки или по разности стрел изгиба от хорды заданной длины от базового и фактического положения кривой, как это делается в большинстве зарубежных стран.

При использовании информации с МСД нужно учитывать параметры передаточной функции измерительной системы [32, 73].

При выправке кривых автоматизированными комплексами необходимо учитывать характеристики путеизмерительных систем машин [33, 34].

Определение фактического положения временно паспортизированной (не паспортизированной) кривой в пути возможно при помощи:

тахеометрической съемки в декартовой системе координат;

способа измерения углов поворота по хордам постоянной длины по трем или четырем точкам;

динамического анализа с учетом сглаживающих свойств систем выправки с использованием передаточной функции измерительных систем;

системы реперной привязки на местности с применением разницы длины хорды.

Определение фактического положения паспортизированной кривой в пути возможно при помощи:

высокоточной координатной системы (ВКС);

метода разности эвольвент;

метода нормалей;

системы с использованием лазерно-оптического оборудования с реперными точками на местности;

всех перечисленных методов, применяемых для временно паспортизированных кривых.

В зарубежной литературе отмечается необходимость применения сглаживающих систем в точках начала и конца переходных кривых.

В таблице 1 приведены данные промеров опытных участков пути в кривых с Южно-Уральской и Горьковской железных дорог, полученные при помощи методов тахеометрической съемки с увязкой положения кривых по геодезическим реперам относительно базового положения, а так же данные с МСД и паспортного положения кривых согласно карточкам кривых [22, 24, 27, 33].

Анализ данных показал соответствие параметрам безопасности содержание кривых в плане методом стрел изгиба с фиксированным шагом, при этом так же показана необходимость в привязке к базовому положению с дополнением характеристик расстройств, кривой в плане.

Помимо отступлений в скользящей системе координат (на базе путеизмерителя) на ряде железных дорог нормируется также отступление от фиксированных реперов в абсолютной системе координат. Так, в ФРГ предлагается нормировать не только разности стрел изгиба в плане от скользящей хорды (Δh), но и отступления от реперов (f). Предлагаемые в этом случае нормы сведены в таблице № 2.11.

Таблица 2.11 – Допускаемые отклонения в плане

Скорость движения, км/ч	Допускаемые величины	
	f , мм	Δh , мм
70	30	6
$70 < V \leq 80$	25	5
$80 < V \leq 120$	20	4
$120 < V \leq 160$	15	3
$160 < V \leq 200$	10	2

где: f – разности стрел изгиба в плане от скользящей хорды (мм);

Δh – отступления от реперов (мм).

Характеристики расстройств кривой в плане формируются из параметров отступления от реперов в мм, в каждой точке кривой [35]. Методика позволяет восстанавливать базовое положение кривой, не допуская накопления отступлений и дальнейшему расстраиванию кривой в плане.

Полученные результаты показывают, что метод тахеометрической съемки дает более точные результаты, хотя является более трудоемким [41].

Таблица 2.12 – Параметры положения кривых

		Сумма по модулю хорды стрелы прогиба, мм	Угол поворота кривой		Среднее отклонение на 100 метров, мм	СКО, мм	Амплитуда, мм	Вариативность, %
			радиан	°				
Одн. Киров 1034 км	1 промер	2705	0,54	31	7,85	13,7	34	74,52
	2 промер	2771	0,55	31,75	9,82	8,4	34	14,46
	МСД	-	-	31,54	9,18	11,7	32	27,45
Мнг. Киров 1024 км	1 промер	6264	1,25	71,78	12,77	11,3	40	11,51
	2 промер	6149	1,23	70,46	11,04	11,7	49	5,89
	МСД	-	-	69,94	11,08	11,5	34	3,88
Мнг. Киров 1032	1 промер	2970	0,59	34,03	8,63	8,36	34	3,13
	2 промер	3007	0,6	34,46	8,18	7,64	37	6,60
	МСД	-	-	35	7,89	7,56	31	4,18
Одн. Киров 17 км	1 промер	2386	0,48	27,34	7,86	10,2	21	29,13
	2 промер	2482	0,5	28,44	8,75	10,7	25	21,94
	МСД	-	-	28,37	7,56	10,1	19	33,73
Мнг. Челябинск 2065 км	1 промер	4368	0,87	50,05	9,46	8,97	47	5,18
	2 промер	4384	0,88	50,24	10,39	9,58	47	7,80
	МСД	-	-	44,8	10,11	9,23	31	8,70
Мнг. Челябинск 2052 км	1 промер	5992	1,2	68,66	7,26	6,06	35	16,53
	2 промер	5858	1,17	67,13	10,92	9,78	59	10,44
	МСД	-	-	68,35	7,97	8,13	30	2,01
Одн. Челябинск 2022 км	1 промер	802	0,16	9,19	8,06	5,58	27	30,77
	2 промер	771	0,15	8,84	9,78	8,52	50	12,88
	МСД	-	-	9,17	7,34	7,43	24	1,23
Одн. Челябинск 2023 км	1 промер	1950	0,39	22,34	7,33	5,05	35	31,11
	2 промер	1942	0,39	22,25	11,17	7,12	59	36,26
	МСД	-	-	22,61	7,56	7,98	27	5,56
Одн. Челябинск 2021 км	1 промер	5037	1,01	57,72	12,54	11,4	44	9,25
	2 промер	4967	1	56,92	10,02	10,4	28	3,49
	МСД	-	-	57,65	9,89	8,45	24	14,56
Мнг. Челябинск 1982 км	1 промер	8641	1,73	99,02	11,68	10,5	39	10,53
	2 промер	8410	1,68	96,37	12,77	11,3	65	11,82
	МСД	-	-	98,25	10,65	10,9	28	2,25

С учетом международного опыта, отклонения фактических величин стрел изгиба от хорды 20 м могут отличаться от стрел изгиба базовой кривой на 10 – 15 мм [35, 36]. Этот вопрос требует дополнительного изучения.

Степень стабильности характеристик кривой по ее длине может быть оценена по статистическим характеристикам стрел изгиба, в частности, по коэффициенту вариации величин стрел (2.10):

$$C_v = \frac{\sigma_f}{\bar{f}}, \quad (2.10.)$$

где C_v – коэффициент вариации,

σ_f – среднеквадратическое отклонение величин стрел изгиба в круговой кривой (мм),

\bar{f} – средняя стрела изгиба (мм).

При $C_v \leq 0,3$ – стабильность характеристик кривой по длине можно считать отличной; при $0,31 \leq C_v \leq 0,4$ – хорошей; при $0,41 \leq C_v \leq 0,5$ – удовлетворительной. При $C_v > 0,5$ кривую следует считать расстроенной и подлежащей выправке. [41].

За рубежом такой статистический анализ не применяется.

2.4 Выводы по главе

По результатам эксплуатационных наблюдений и проведенного анализа получены следующие основные результаты:

1 Анализ скоростемерных лент показал, что на значительном протяжении участка Большой Луг – Слюдянка-2 средние скорости движения поездов составляют 45 – 55 км/ч, что составляет 75 – 92% от максимально допускаемой 60 км/ч, на отдельных кривых средние скорости движения поездов составили 42-44 км/ч (70-73 % от максимально допускаемой для данного участка).

2 Результаты проведенного анализа показали, что в кривых перевального участка Большой Луг – Слюдянка на участках спусков реализуются меньшие скорости движения, чем на участках подъемов.

3 Анализ скоростей движения поездов показал, что интенсивность износа рельсов (ДТ350, ДТ400ИК) зависит от реализации скоростей движения грузовых поездов – чем ближе значения фактических скоростей движения поездов к расчетной при минимальной их дисперсии, тем ниже интенсивность бокового износа рельсов.

4 Статистический анализ значимости различий средних значений бокового износа рельсов различных категорий (ДТ350, ДТ370ИК и ДТ400ИК) по расчету t-критерия Стьюдента в кривых, уложенных на участках Восточно-Сибирской $F_{кр} = 2,7115576 > 2,52$ и Забайкальской железных дорог $F_{кр} = 2,6632870 > 2,65$ показал, что разница статистически не значима. Для получения более точных результатов, необходимо увеличить объем выборки.

5 Проведенный анализ корреляционных связей показал, что в кривых радиуса менее 350 м наблюдается устойчивая корреляционная связь между интенсивностью бокового износа рельсов и влияющими на нее факторами (в большей степени подуклонки и уклона профиля). Это означает, что чем выше величина указанных показателей, тем выше и степень изнашивания рельсов. В кривых радиуса более 350 м в большей степени на интенсивность износа рельсов оказывает влияние фактор уклона профиля – на крутых подъемах и спусках изнашиваемость рельсов интенсивнее ввиду применения экстремальных режимов вождения грузовых поездов. Влияние подуклонки рельсов и непогашенного ускорения по уровню значимости аналогично кривым радиуса менее 350 м. Полученные коэффициенты детерминации (в среднем 0,7) указывают на то, что в данных моделях на интенсивность износа также оказывают влияние дополнительные неучтенные эксплуатационные факторы.

6 Проведенные эксплуатационные наблюдения за опытными кривыми участками пути позволяют сделать выводы о существующей тенденции к увеличению интенсивности износа рельсов при отклонениях подуклонки рельсов от нормального значения $1/20$ как в сторону разуклонки, так и переуклонки. Функция: $y = f(x_2) \rightarrow 0$, при $a_{нп} = -0,1 \dots + 0,1 \text{ м/с}^2$ показывает, что возвышение наружного рельса в кривых на участках грузового движения с высокой грузонапряженностью, целесообразно определять из условия движения с непогашенным ускорением $a_{нп} \sim 0 \text{ м/с}^2$, с целью минимизации воздействия подвижного состава на путь и снижения бокового износа рельсов. Определено, что максимальная интенсивность износа рельсов наблюдается в кривых, расположенных на уклонах круче 10‰, что объясняется

увеличением силового воздействия на путь со стороны подвижного состава.

7 Эксплуатационные наблюдения показали, что контактно-усталостные повреждения рельсов преимущественно наблюдаются в кривых, где возвышение наружного рельса не обеспечивает для преобладающих скоростей грузовых поездов компенсацию непогашенного ускорения (как положительного, так и отрицательного), а также на участках с отступлениями в содержании пути (выплески, потайные просадки, отступления по подуклонке).

8 Анализ скоростей движения поездов и эксплуатационных параметров показал, что не реализация установленных скоростей движения влечет за собой перевозышение наружного рельса в кривых, что приводит к перегрузке внутренней нити – что приводит к образованию выкрашиваний. В ходе исследований установлено, что на участках, где кривые устроены с отступлениями от проекта, минимальные скорости грузовых поездов более чем на 20 км/ч отличаются от проектных и на участках пути с уклонами, превышающими 7 – 8‰, как на спусках, так и на подъемах – шлифование рельсов не обеспечивает продолжительного эффекта и в течение короткого промежутка времени (наработки 15-20 млн. т брутто) наблюдаются более интенсивные выкрашивания поверхности катания рельсов.

На основе проведенных эксплуатационных наблюдений за состоянием кривых участков пути сделан вывод о необходимости актуализации действующих нормативных документов по определению возвышений наружного рельса и допускаемых скоростей движения в кривых для обеспечения оптимизации взаимоувязанных соотношений возвышения и скоростей движения поездов. Полученные результаты использованы при моделировании, результаты которого рассмотрены в следующей главе.

Глава 3. Моделирование силового взаимодействия пути и подвижного состава в кривых участках пути

3.1 Теоретические аспекты

На сегодняшний день вопросы влияния отклонений от базового положения железнодорожного пути в плане на показатели взаимодействия пути и подвижного состава широко изучены. Исследования охватывают общие расчеты действия сил в кривых, а также оценку влияния на уровень силового взаимодействия пути и подвижного состава в кривых, как единичных неровностей, так и реализаций неровностей различной длины и амплитуды.

В качестве показателей взаимодействия пути и подвижного состава, отражающих влияние неровностей пути в плане принимают рамные и боковые силы.

Согласно ГОСТ Р 55050-2012 «Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний» от 01.07.2013 г.:

«Рамные силы: Поперечные силы взаимодействия между колесной парой и рамой тележки единицы железнодорожного подвижного состава.

Боковая сила: Проекция силы, воспринимаемой внутренней боковой поверхностью головки рельса от воздействия колеса единицы железнодорожного подвижного состава, на поперечную плоскость железнодорожного пути, проходящую через точку контакта колеса и головки рельса».

Оценка силового взаимодействия пути и подвижного состава производится для установления взаимосвязи между регистрируемыми отклонениями натурной кривой от базового положения и уровнем возникающих при этом поперечных сил для последующего нормирования допускаемых величин отклонений от базового положения.

При этом, необходимо учитывать, что согласно ГОСТ Р 55050-2012 «Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний» от 01.07.2013 величина допускаемых боковых сил, передаваемых от колеса на рельс составляет не более 100 кН, а допускаемое отношение рамной силы к вертикальной статической нагрузке колесной пары на рельсы составляет не более 0,4.

3.2 Влияние геометрии пути на показатели взаимодействия пути и подвижного состава

Вопросы влияния отклонений от базового положения железнодорожного пути в плане на показатели взаимодействия пути и подвижного состава широко изучены отраслевой наукой. Исследования охватывают общие расчеты действия сил в кривых [36, 37], а также оценку влияния на уровень силового взаимодействия пути и подвижного состава в кривых как единичных неровностей [38], так и реализации последовательности неровностей различной длины [37].

В данной работе оценка силового взаимодействия пути и подвижного состава производится для установления взаимосвязи между регистрируемыми отклонениями натурной кривой от базового положения и уровнем возникающих при этом поперечных сил для последующего нормирования допускаемых величин отклонений от базового положения.

Для решения поставленной задачи, при моделировании были рассмотрены два варианта моделей пути. Модель пути, построенная по данным карточки кривой, состоит из стандартных элементов – переходных и круговых кривых, и не имеет отклонений в плане. Модель пути, построенная по данным тахеометрической съемки, отражает реальное положение кривой и обладает рядом отклонений от базовой кривой в плане. В качестве исходной информации для построения моделей были взяты данные по кривым участкам пути на направлении Самара – Челябинск. На рисунке 3.1

приведены величины отклонений в одной из кривых на участке Самара – Челябинск.

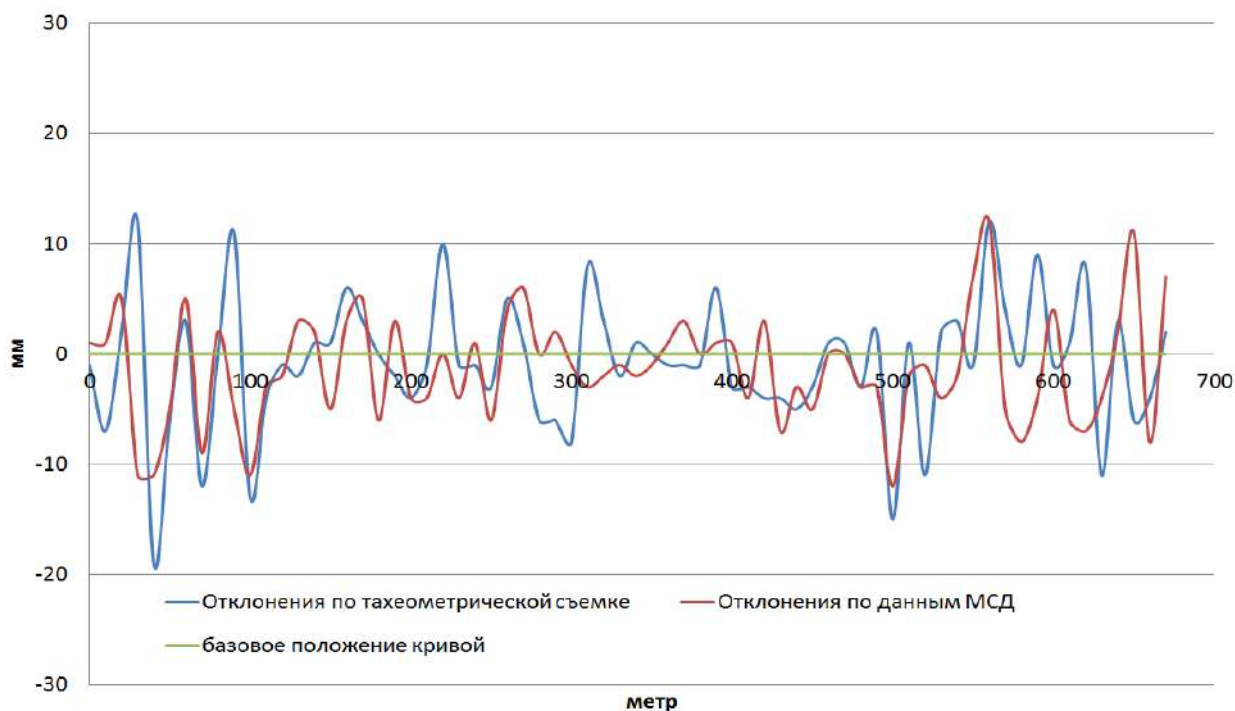


Рисунок 3.1 – Величины отклонений от базового положения кривой пути
плане

В качестве исходной информации для построения моделей были взяты данные по кривым участкам пути на направлении Самара – Челябинск. На рисунке 3.2. представлен пример одной из рассмотренных кривых, а в таблице 3.1 приведена краткая информация по этой кривой.

На рисунках 3.3 и 3.4 в виде осциллограмм представлены результаты расчета рамных и боковых сил при движении грузового вагона с нагрузкой на ось 23,5 тс со скоростями 60 км/ч и 80 км/ч по рассматриваемой кривой, представленной в виде модели пути по данным карточки кривой и в виде модели пути, построенной по данным тахеометрической съемки.

Таблица 3.1 – Пример краткой информации о железнодорожной кривой.

№ участка	Радиус кривых, метров	Краткое описание				Характеристики элементов кривых
		Характеристики кривой	Значение радиусов кривой, м			
			min	max	ср.	
1. Златоуст-Челябинск Главный ход, участок Миасс1 – Полетаево1	<350	ПЧ: 6, путь: 1, однорадиусная кривая левая 24, км 2020 ПК10 – км 2021 ПК4, длина кривой 413 м	313	338	316	км 2021 ПК1 – км 2021 ПК3, длина 222 м



Рисунок 3.2 – Пример сравнения двух моделей пути.



Рисунок 3.3 – Результаты расчета рамных сил: а) со скоростью движения 60 км/ч; б) со скоростью движения 80 км/ч.

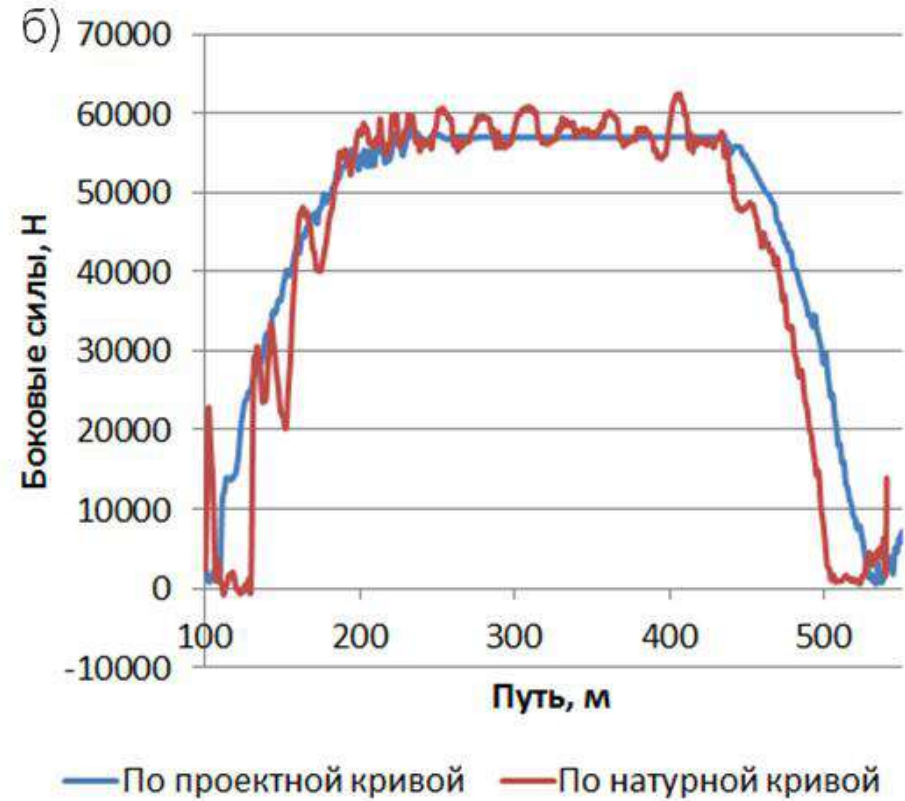


Рисунок 3.4 – Результаты расчета боковых сил: а) со скоростью движения 60 км/ч; б) со скоростью движения 80 км/ч.

Для расчета показателей взаимодействия пути и подвижного состава из рассмотренных выше кривых в плане были выбраны две однорадиусные и одна многорадиусная кривые на направлении Самара – Челябинск. Согласно карточкам кривых, радиусы двух однорадиусных кривых составляли 605 м и 634 м, а многорадиусная кривая состояла из двух кривых радиусами 807 м и 748 м. В программном комплексе «Универсальный механизм» были проведены расчеты боковых сил и рамных сил, возникающих при движении грузового вагона с нагрузкой 23,5 тс и со скоростями 60 км/час и 80 км/час в кривых в базовом и натурном положениях.

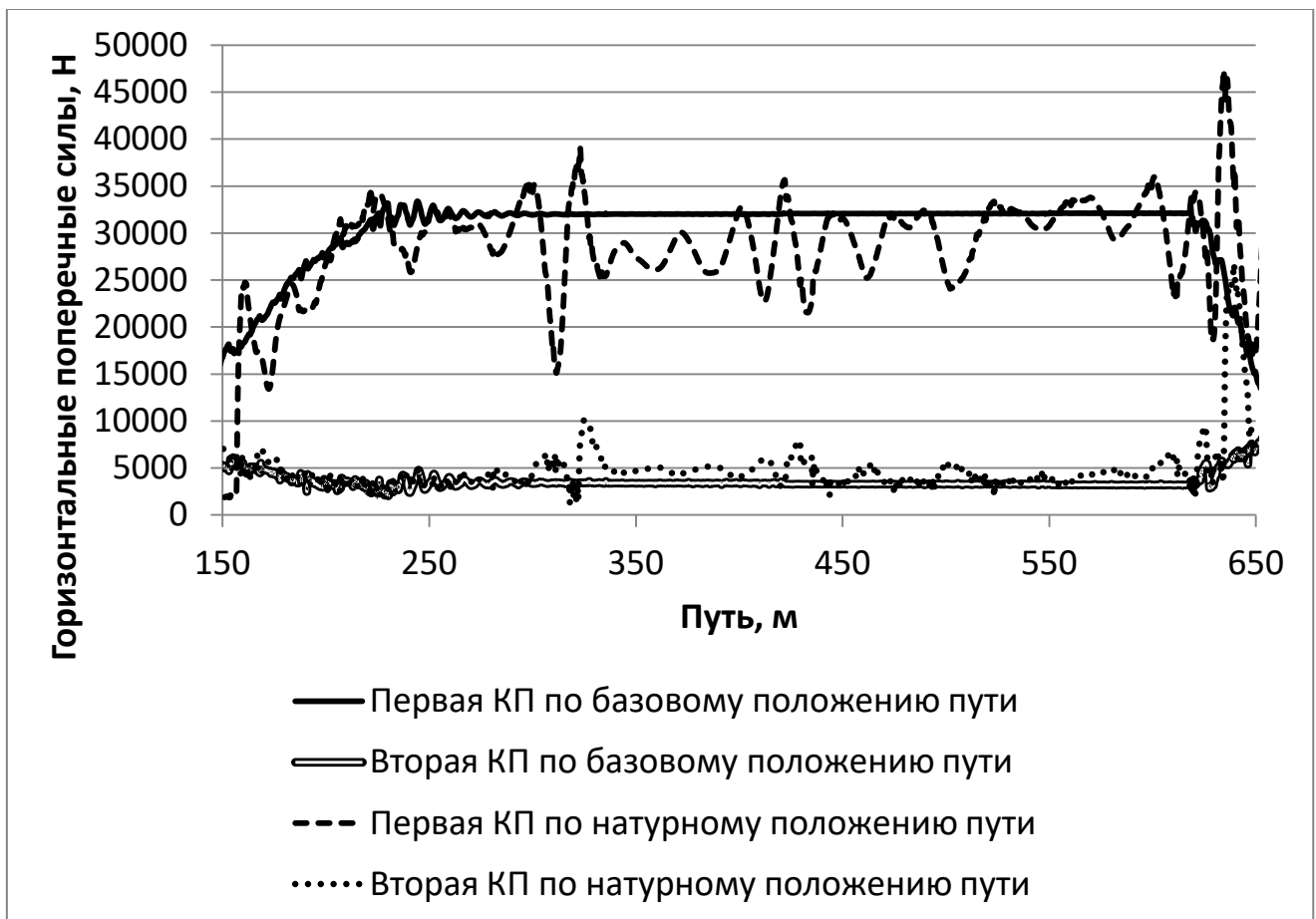


Рисунок 3.5 – Пример оциллограммы рамных сил (КП – колесная пара)

На рисунках 3.5 и 3.6 представлены оциллограммы, средние значения и среднеквадратичные отклонения (СКО) рамных сил для правых колес первой тележки при моделировании движения грузового вагона со скоростью 60 км/час в базовом и натурном положении одной из кривых на направлении

Самара – Челябинск. Из осциллограммы процесса движения вагона в кривой видно, что первое колесо движется с набеганием, а второе – нет.

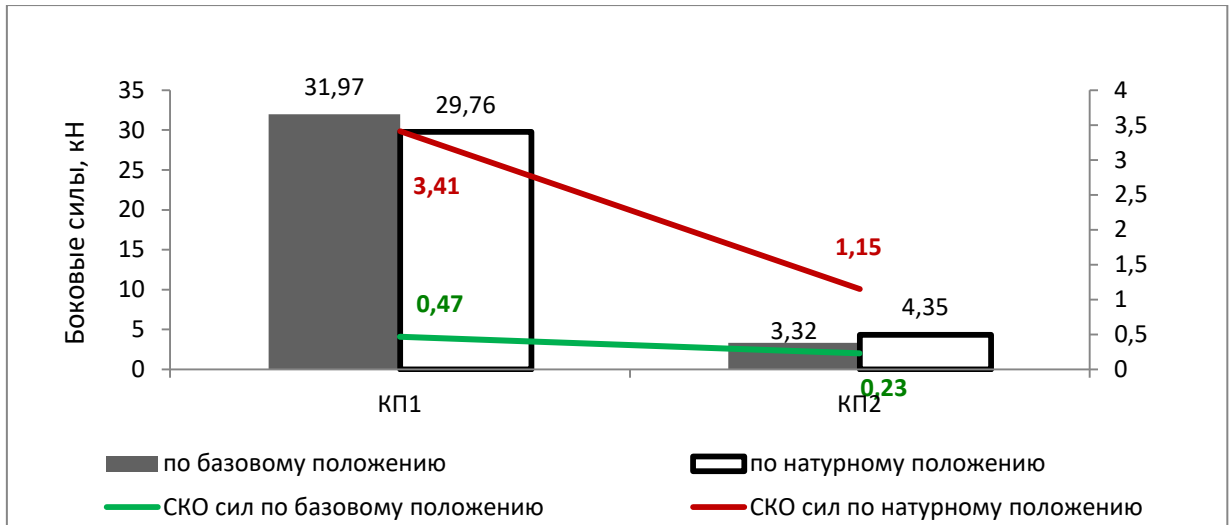


Рисунок 3.6 – Пример средних значений и СКО боковых сил

Таблица 3.2 – Значения средних значений боковых сил и СКО боковых сил

Положение кривой	Боковые силы, кН	СКО боковых сил
По базовому положению	31,97	0,47
По натурному положению	29,76	3,41

Из таблицы 3.2 видно, что средние значения боковых сил, рассчитанных при моделировании движения вагона по кривой в базовом положении и по натурной кривой, различаются незначительно. Однако наличие отклонений в натуральных кривых приводят к росту среднеквадратичных отклонений рассчитанных показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава.

Для дальнейшей оценки силового влияния на путь в кривой приведены дополнительные расчеты в программном комплексе «Универсальный механизм».

Участки кривых в своей работе под поездными нагрузками существенно отличаются от прямых участков пути, большей интенсивностью серьезных технических отказов, в том числе расстройством колеи в плане, боковому износу головок рельсов и др.

К числу параметров взаимодействия пути и подвижного состава, вызывающих увеличение бокового износа и другие отказы пути в кривых следует отнести: боковые силы и рамные силы. [87]

Для расчета влияния неровностей в плане на величину рамной силы в кривой был использован программный комплекс «Универсальный механизм». Для проверки адекватности результатов расчетов были выбраны кривые радиусом 350 метров и 650 метров. Полученные расчетом значения рамных сил показали хорошую корреспондируемость с результатами натуральных испытаний и расчетах, приведённых в трудах – Ершкова О.П., Певзнера В.О., Ромена Ю.С. [38, 85, 86]

Это позволило провести эксперимент по оценке влияния отклонения положения пути в плане различной величины на уровень рамных сил. Расчеты проводились для условий нескольких кривых одной из дистанций Свердловской железной дороги. После проверки на адекватность способа расчета, были использованы параметры кривых взятых из карточек кривых Верещагинской дистанции пути. Параметры кривых для ввода данных в программный комплекс универсальный механизм приведены в таблице 3.2.

В качестве обобщенного показателя оценки безопасности движения обычно используют предельные значения расчетного непогашенного поперечного ускорения $a_{нп}$, определяемого геометрическими параметрами пути. По техническим и экономическим соображениям для грузового подвижного состава в качестве рекомендуемых приняты значения $a_{нп}$ в диапазоне $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$. Значения непогашенных ускорений при скорости экипажа 50 км/ч в выбранных кривых представлены в таблице 3.3 [38].

Таблица 3.3 – Параметры кривых для ввода в программный комплекс «Универсальный механизм»

Номер кривой	1	2	3
Параметры			
Переходной участок (заезд), м	50	90	100

Номер кривой	1	2	3
Параметры			
Длина кривой постоянного радиуса, м	695	940	310
Переходной участок (выезд), м	70	90	100
Радиус, м	630	533	605
Возвышение, м	0,085	0,105	0,105
$a_{нп}$, м/с ²	-0,2	-0,3	-0,3
Скорость движения, км/ч	50	50	50

Для произведения расчетов в программный комплекс «Универсальный механизм» так же необходимо было внести параметры неровностей.

Для этого были смоделированы отклонения длиной 15 метров и амплитудами 10, 13, 20, 30 мм, а также неровности на длине 30 метров и амплитудами 10, 13, 20, 30 мм. Это соответствует нормативам длин отклонений до 20 и до 40 метров при разности смежных стрел изгиба 15 мм, 20 мм, 30 мм и 45 мм.

Параметры отклонений были заданы с помощью формулы (3.1):

$$x_i = A \sin \frac{2\pi k i}{N}, \quad (3.1)$$

где k – гармоническая составляющая

A – амплитуда неровности

N – длина выборки

i – порядковый номер моделируемого значения. ($i = 0 \dots 4096$)

Для моделирования отклонений на длине 700 метров длина выборки составляет 4096 значений, что в свою очередь соответствует количеству значений с шагом 18,5 сантиметров. Для расчета было принято решение оценить воздействие амплитуды отклонений на величину рамных сил. Гармоническая составляющая рассчитывается по формуле (3.2):

$$k = \frac{L}{m}, \quad (3.2)$$

L – длина участка моделируемых отклонений,

m – длина отклонения.

Гармоническая составляющая на длине 15 метров – 46, а на 30 метрах – 23.

При внесении данных в программный комплекс «Универсальный механизм», внесенные данные для макрогеометрии были внесены для моделирования длины пути 1000 метров. Длина участка смоделированных нервноностей составляла 700 метров. Смоделированные отклонения пути были внесены поточечно с шагом 18,5 см. Также были внесены последние уточняющие данные для расчетов: подвижной состав – грузовой полувагон на тележках (18-100), скорость полувагона 50 км/ч.

Первым этапом был произведен расчет по натурным параметрам кривых без внесения значений отклонений. Результаты расчетов представлены в таблице 3.4.

Как можно заметить, наибольшее значение рамной силы при расчете в кривой без отклонений было получено в кривой 2 с наименьшим радиусом.

Таблица 3.4 – Результаты расчетов в программном комплексе «Универсальный механизм» по параметрам кривых

Номер кривой (R,h, $a_{нп}$)	Величина Рамной силы без учета отклонений (кН)
1 (630; 0,085; -0,2)	7
2 (533; 0,105; -0,3)	10
3 (605; 0,105; -0,3)	5

Следующим этапом был произведен расчет по параметрам кривых и параметрам отклонений на данных кривых с разными длинами и амплитудами. Результатам являлись максимальные значения рамной силы, полученные на данных километрах. Результаты расчетов приведены в таблицах 3.5-3.6.

Таблица 3.5 – Результаты расчетов рамных сил с отклонениями длиной 15 метров

Номер кривой (R,h, $a_{нп}$)	Отклонение	Величина Рамной силы на отклонениях (кН)
1 (630;0,085;-0,2)	Амплитуда 10 мм длина 15 м	26
	Амплитуда 13 мм длина 15 м	28
	Амплитуда 20 мм длина 15 м	45

Номер кривой (R,h, $a_{нп}$)	Отклонение	Величина Рамной силы на отклонениях (кН)
	Амплитуда 30 мм длина 15 м	60
2 (533;0,105;-0,3)	Амплитуда 10 мм длина 15 м	30
	Амплитуда 13 мм длина 15 м	32
	Амплитуда 20 мм длина 15 м	48
	Амплитуда 30 мм длина 15 м	80
3 (605;0,105;-0,3)	Амплитуда 10 мм длина 15 м	20
	Амплитуда 13 мм длина 15 м	24
	Амплитуда 20 мм длина 15 м	50
	Амплитуда 30 мм длина 15 м	60

Таблица 3.6 – Результаты расчетов рамных сил с отклонениями
длиной 30 метров

Номер кривой (R,h, $a_{нп}$)	Отклонение	Величина Рамной силы на отклонениях (кН)
1 (630;0,085;-0,2)	Амплитуда 10 мм длина 30 м	9
	Амплитуда 13 мм длина 30 м	16
	Амплитуда 20 мм длина 30 м	20
	Амплитуда 30 мм длина 30 м	24
2 (533;0,105;-0,3)	Амплитуда 10 мм длина 30 м	16
	Амплитуда 13 мм длина 30 м	22
	Амплитуда 20 мм длина 30 м	24
	Амплитуда 30 мм длина 30 м	28
3 (605;0,105;-0,3)	Амплитуда 10 мм длина 30 м	17
	Амплитуда 13 мм длина 30 м	24
	Амплитуда 20 мм длина 30 м	27
	Амплитуда 30 мм длина 30 м	32

По данным результатов расчетов был построены графики зависимостей величины рамной силы от амплитуды отклонений. Данные графики представлены на рисунках 3.7-3.9

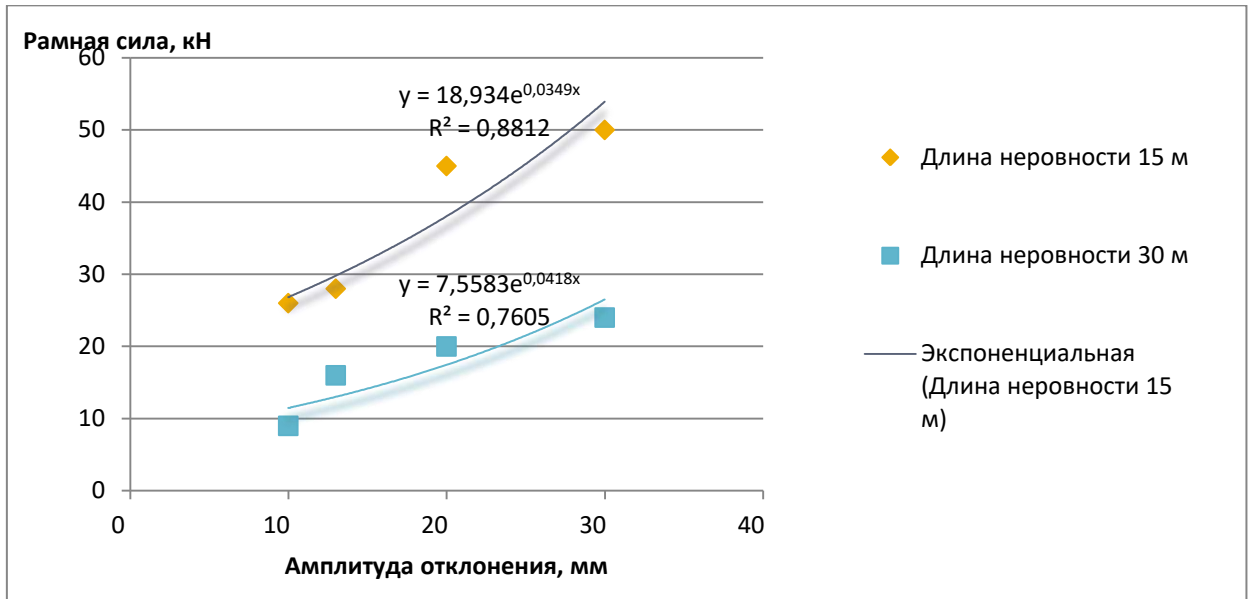


Рисунок 3.7 – Зависимости рамных сил от амплитуды отклонений в кривой 1 (630; 0,085; -0,2)

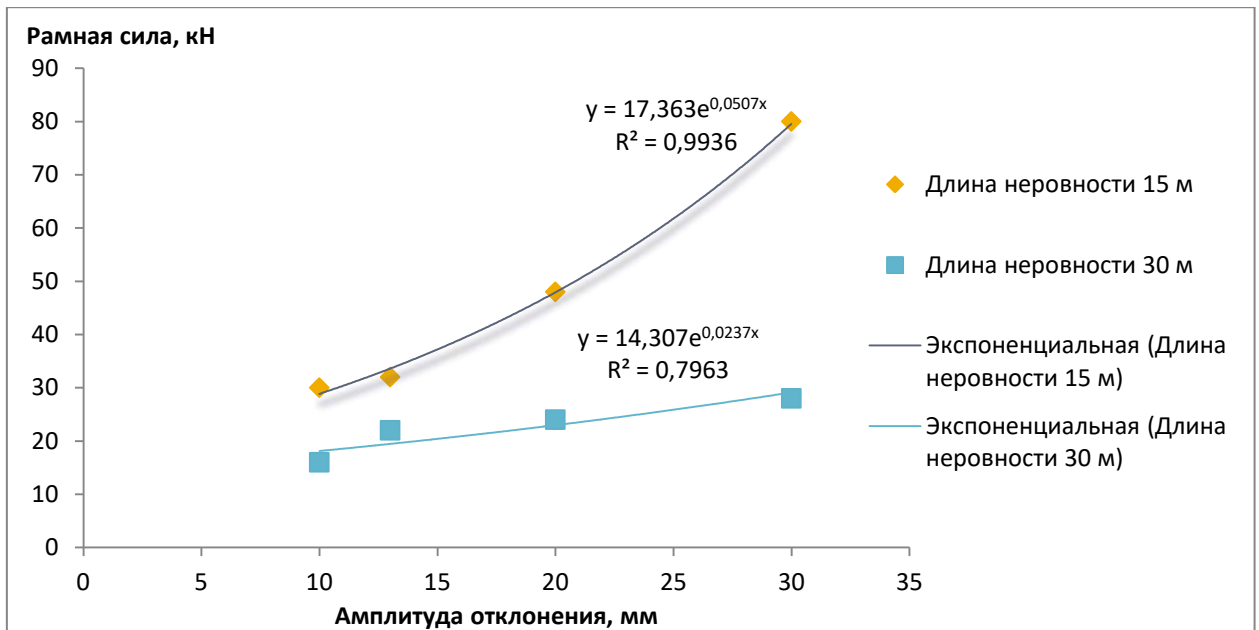


Рисунок 3.8 – Зависимости рамных сил от амплитуды отклонений в кривой 2 (533; 0,105; -0,3)

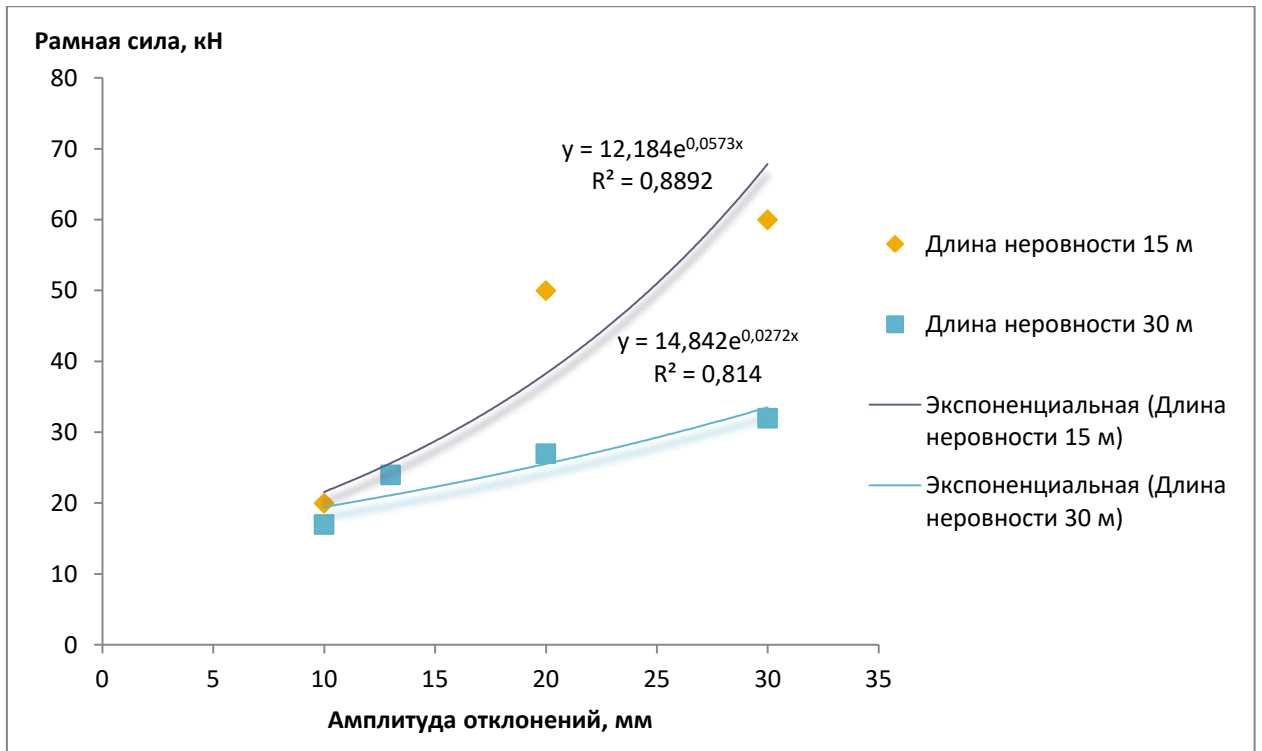


Рисунок 3.9 – Зависимости рамных сил от амплитуды отклонений в кривой 3 (605; 0,105; -0,3)

Как видно из рисунков 3.7-3.9 присутствует экспоненциальная зависимость между рамной силой в кривой и амплитудой отклонения. Более явный характер зависимости (рисунок 3.7) можно увидеть с меньшим непогашенным ускорением и меньшей величиной возвышения. Можно заметить, что при большей амплитуде отклонения и на меньшей длине (амплитуда отклонения 30 мм, длина 15 метров) были получены максимальные значения рамных сил. Более пологие отклонения с теми же значениями амплитуд на большей длине показывают меньшее значение рамных сил. Также максимальное значение рамной силы было получено при расчете кривой 2, с большим значением кривой постоянного радиуса и с наименьшим радиусом из всех рассчитанных.

Как отмечалось ранее, величина роста рамной силы является одним из факторов увеличения бокового износа. Учитывая полученные результаты расчетов, показывающие кратное увеличения значений рамных сил в кривой при наличии отклонений в плане длиной до 20 и до 40 метров при разности смежных стрел изгиба 15 мм, 20 мм, 30 мм и 45 мм, можно судить о

пропорциональном увеличении значений неравномерного бокового износа под влиянием отклонений пути в плане.

По результатам анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что рост числа и амплитуды отклонений ведет к увеличению показателя боковых сил, причем это увеличение заметно в большей степени на кривых большего радиуса. По этой причине предлагается при оценке состояния кривых участков железнодорожного пути учитывать не только амплитуду отклонений, но и процентное соотношение стрелы круговой кривой к амплитуде отклонения.

На рисунке 3.10 представлены зависимости типа изнашивания рельсов от состояния пути в плане, построенные по расчетным значениям параметра $\lambda \cdot p_{max}$ (произведение проскальзывания на максимальное давление в зоне контакта колес с рельсами). Расчет производился в программном комплексе «Универсальный механизм» при моделировании движения грузового вагона с нагрузкой 23,5 тс со скоростью 60 км/час по кривым различных радиусов (300 метров, 650 метров, 1200 метров и 4000 метров) без отклонений в плане и с неровностями, соответствующими нормативным состояниям пути (отличному, хорошему, удовлетворительному и неудовлетворительному состоянию). Из рисунка 3.14 видно, что рост интенсивности износа в кривой вызывают даже небольшие отклонения в плане. Так, в зону интенсивного типа изнашивания попадают кривые радиусом 300 м, 650 м, 1200 м даже в хорошем состоянии, то есть с отклонениями не выше 23 мм (с разностью стрел изгиба до 35 мм).

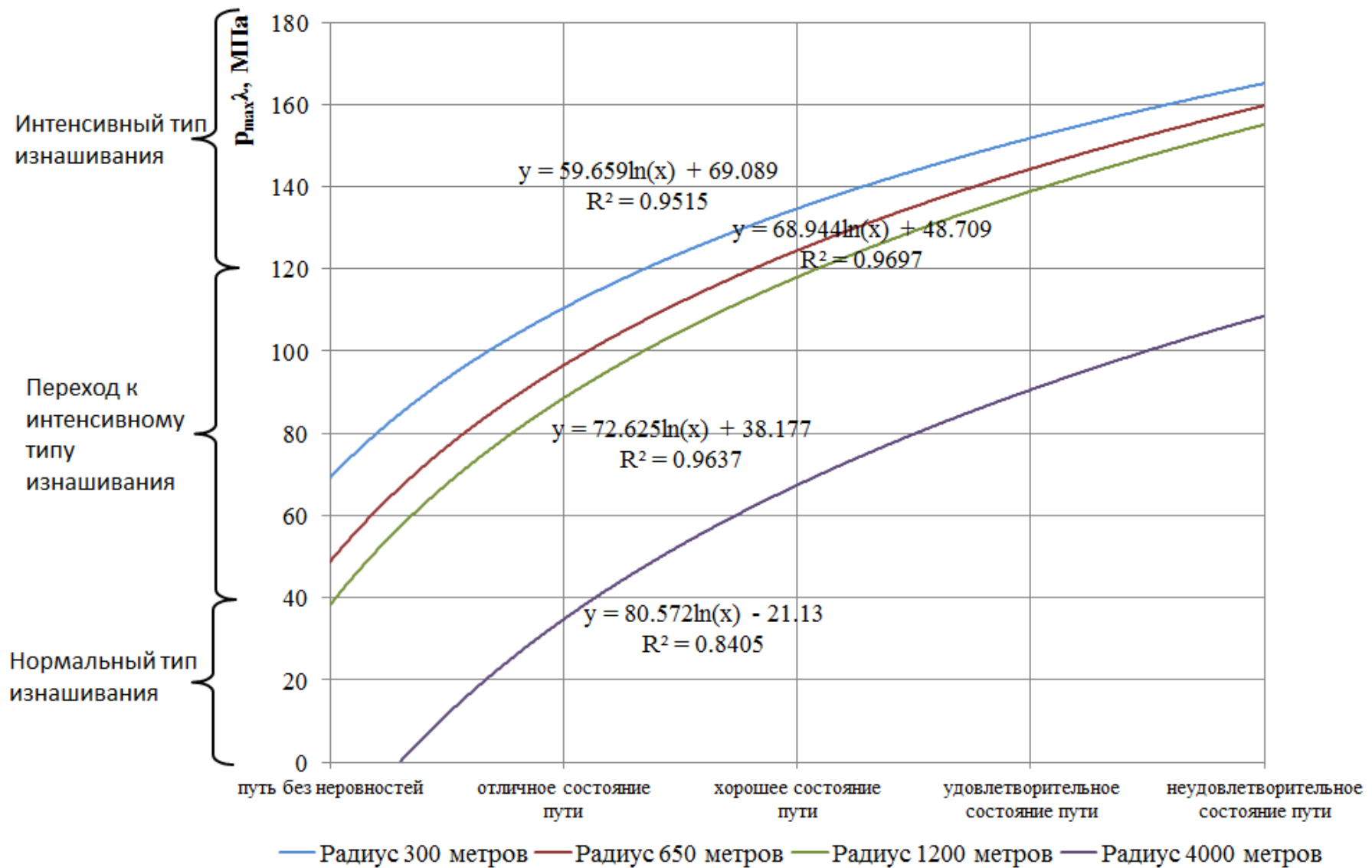


Рисунок 3.10 – Зависимость типа изнашивания рельсов от состояния пути

Другим аспектом, который обосновывает необходимость перехода к содержанию кривых участков железнодорожного пути в соответствие с проектным положением, является неравномерность изнашивания в многорадиусных кривых. Для оценки уровня такой неравномерности в программном комплексе «Универсальный механизм» было смоделировано движение грузового вагона с нагрузкой 23,5 тс и со скоростями 60 и 80 км/час по однорядусной кривой радиусом 450 метров и многорадиусной кривой, включающих в себя четыре круговые кривые (радиусы: 545 м, 970 м, 315 м и 530 м).

По результатам моделирования были рассчитаны рамные силы [51, 52]. На рисунке 3.11 виден рост рамных сил в многорадиусной кривой по сравнению с однорядусной.

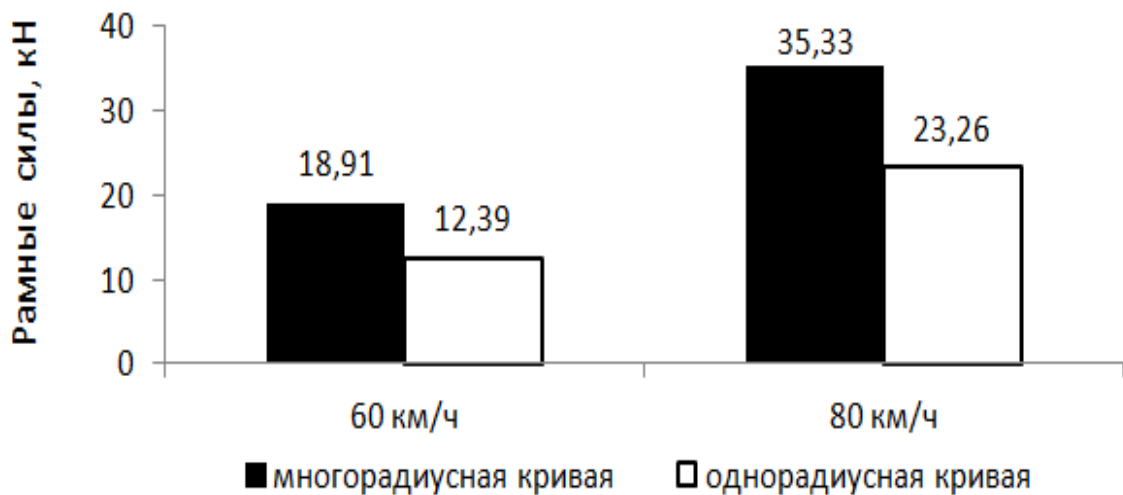


Рисунок 3.11 – Рамные силы при движении грузового вагона в многорадиусной и однорядусной кривых.

На рисунке 3.12 приведен пример многорадиусной кривой, взятый из карточки кривой на направлении Самара-Челябинск. С применением тахеометрической съемки были получены координаты этого участка и по ним была построена модель натурального положения многорадиусной кривой в программном комплексе «Универсальный механизм».

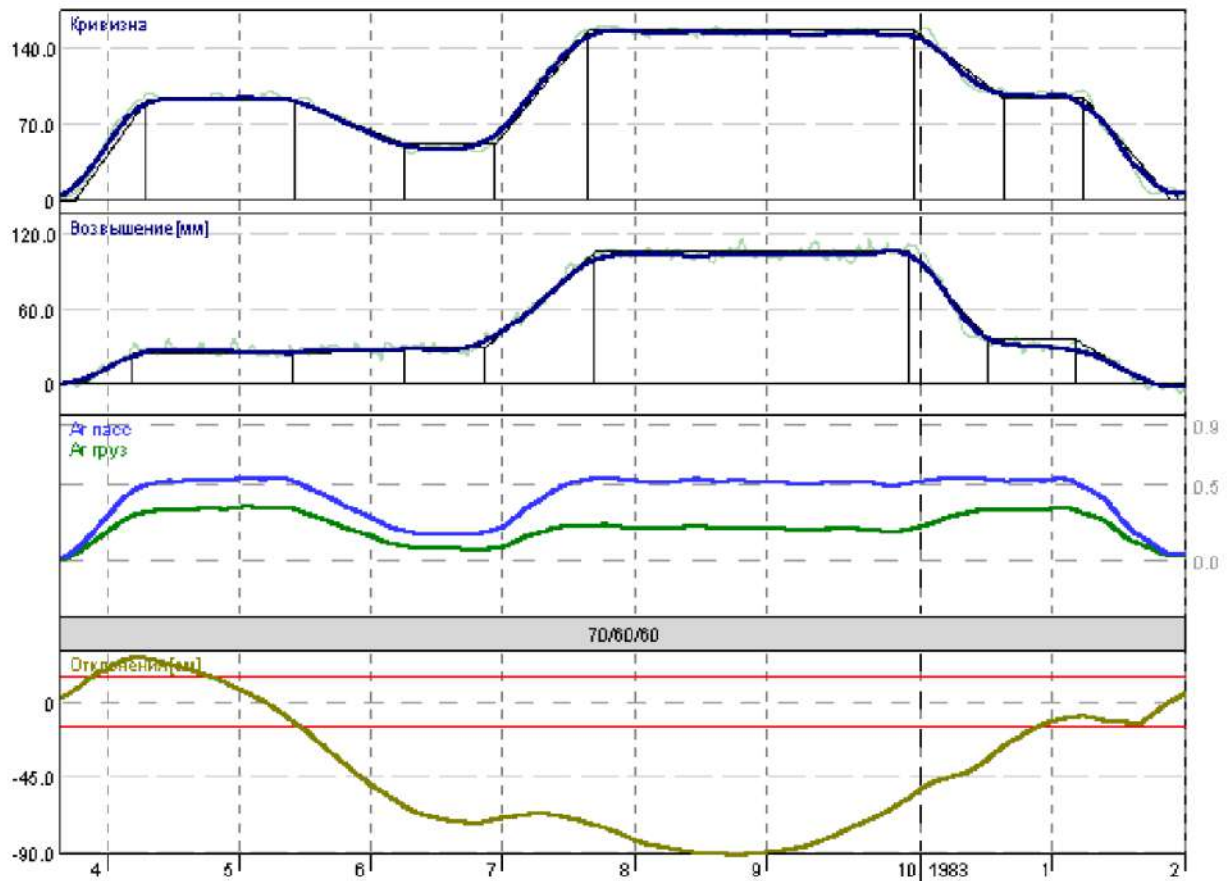


Рисунок 3.12 – Пример многорадиусной кривой.

Для сравнения интенсивности изнашивания рельсов в многорадиусной и однорадиусной кривой в программе моделирования была построена еще одна модель криволинейного участка пути с усредненным радиусом и возвышением наружного рельса по данным представленной выше многорадиусной кривой.

На двух моделях пути проводились расчеты проскальзывания и максимального давления в точке контакта колес и рельсов при движении грузового вагон с нагрузкой на ось 23,5 тс и со скоростью 60 км/ч. Результаты расчетов были использованы в модели износа, разработанной в АО «ВНИИЖТ», для получения уровня интенсивности бокового износа рельсов по формуле 3.3 (рисунок 3.13):

$$I = \frac{k\lambda^2 p_{max}}{E}, \quad (3.3)$$

где:

k – безразмерный коэффициент, равный 0,03 для чистых рельсов;

E – модуль Юнга для рельсовых сталей.

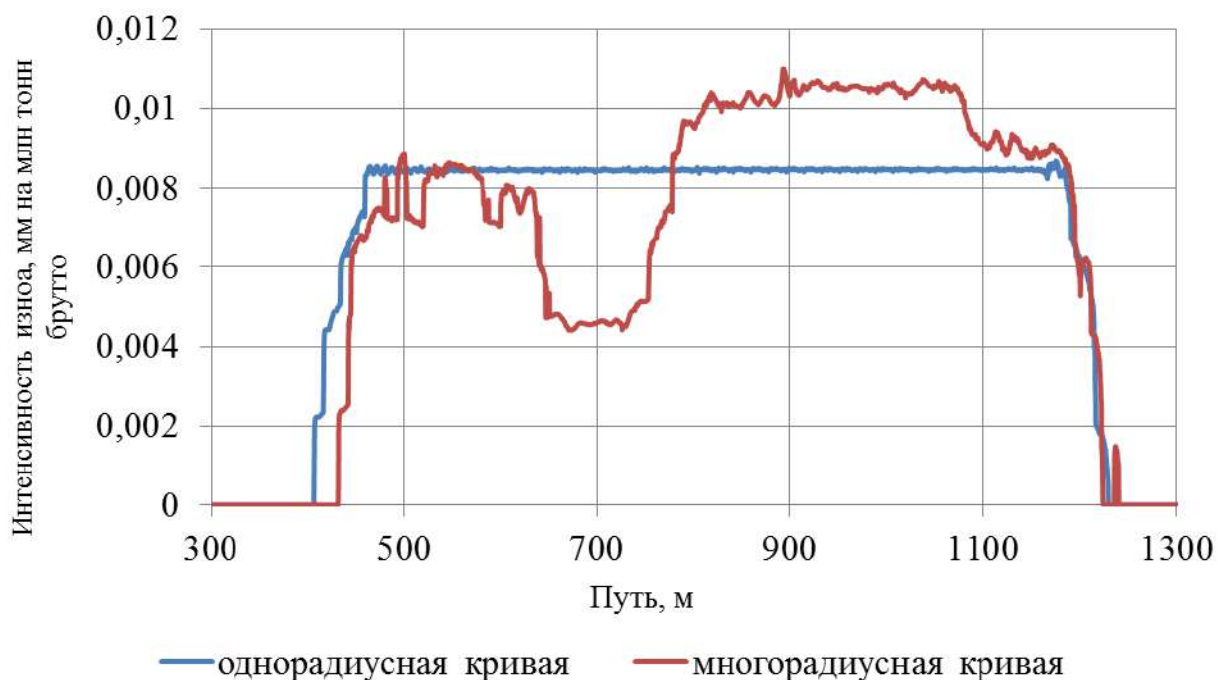


Рисунок 3.13 – Сравнение интенсивности бокового износа рельсов в многорадиусной и однорадиусной кривой.

Анализ результатов расчетов, представленных на рисунке 3.13, указывает на неравномерность уровня изнашивания рельсов в многорадиусных кривых, что неизбежно ведет к нерациональности в проведении ремонтных работ и обслуживании пути, поскольку необходимость замены рельсов на всей кривой определяется по самому плохому участку. Это служит обоснованием для перехода к содержанию пути по отклонениям от проектного (базового) положения, в отличие от подхода, основанного на принципе «минимальной суммы сдвигов», ведущего к паспортизации многорадиусных и расстроенных кривых. [48].

3.3 Выводы по главе

Результаты моделирования влияния отклонения натурной кривой от

базового положения на показатели взаимодействия пути и подвижного состава показали следующее:

1 Проведенные исследования показали, что средние значения рамных и горизонтальных поперечных сил, рассчитанных при моделировании движения грузового вагона со скоростью 60 км/час в базовом и натурном положении кривой на направлении Самара – Челябинск, различаются незначительно. Однако наличие отклонений в натуральных кривых приводят к росту среднеквадратичных отклонений рассчитанных показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава.

2 По результатам анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что рост числа и амплитуды отклонений ведет к увеличению боковых сил, причем это увеличение заметно в большей степени на кривых большего радиуса. По этой причине предлагается при оценке состояния кривых участков железнодорожного пути учитывать не только амплитуду отклонений, но и процентное соотношение стрелы круговой кривой к амплитуде отклонения в зависимости от радиуса.

3 В результате расчета в программном комплексе «Универсальный механизм» показателей взаимодействия пути и подвижного состава в кривых, в том числе с отклонениями от проектного положения, было установлено:

3.1 рост числа и амплитуды отклонений ведет к увеличению показателя боковых сил, причем это увеличение заметно в большей степени на кривых большего радиуса;

3.2 рост интенсивности износа в кривой вызывают даже небольшие отклонения в плане;

3.3 имеет место неравномерность уровня изнашивания рельсов в многорадиусных кривых, что неизбежно ведет к нерациональности в проведении ремонтных работ и обслуживании пути, поскольку необходимость замены рельсов на всей кривой определяется по самому плохому участку.

4 Проведенные исследования показали, что существующая оценка

положения кривых в плане только по разности смежных стрел изгиба должна быть дополнена величинами отклонений от базового положения. Подход паспортизации что «идеальная кривая» должна быть максимально приближена к фактическому положению кривой приводит к превращению однорадиусных кривых с постоянными по длине деформационными и износными характеристиками в многорадиусные. Положение усугубляется несоответствием фактических скоростей движения проектным из-за высокой плотности поездопотока, а также наличия смешанного движения, при котором возвышение наружного рельса соответствует нормам безопасности движения пассажирских составов, зачастую приводя к невозможности обеспечить установленную скорость для грузовых составов.

5 Необходимость учета отклонений от базового положения обусловлена тем, что наличие отклонений в кривых вызывает неравномерный боковой износ рельсов, что приводит к нерациональной смене рельсовых нитей. По результатам расчетов по критерию безопасности (уровень горизонтальных поперечных сил не выше 100 кН) нецелесообразно наличие в кривой отклонений амплитудой свыше 25 мм, а по критерию интенсивности износа (мощность сил трения в пятне контакта набегающего колеса с рельсом к площади пятна контакта не выше $20,2 \text{ мВт/м}^2$) нецелесообразно наличие в кривой радиусом 600 м отклонений амплитудой свыше 21 мм.

Результаты моделирования выполненные в рамках диссертационной работы использованы при разработке Инструкции, определяющей единых порядок и содержание кривых участков пути на стадиях проектирования и эксплуатации с целью минимизации расстройств и износов верхнего строения пути.

Глава 4. Совершенствование системы оценки параметров устройства и содержания пути в кривых

4.1 Новый подход к оценке отклонений положения кривого участка пути в плане от его проектного положения

Усложнение условий работы пути в современных реалиях эксплуатации связано с ростом масс грузовых поездов, сокращением межпоездных интервалов в грузовом движении [53] с одной стороны и ростом скоростей движения пассажирских поездов, с другой особенно на скоростных участках [54], ставит на повестку дня вопрос о необходимости совершенствования существующей системы оценки положения пути в плане.

Как отмечалось в работах [55-57] существующая система оценки пути в плане только по разности смежных стрел изгиба от середины 20 м хорды в точках через 10 м, сложившаяся с начала эксплуатации железнодорожных дорог в конце XIX - начале XX века основана на ручных промерах. Применение путеизмерителей для оценки неровностей пути в плане относятся к середине 70 годов XX века. Эта система предназначена для неровностей длиной до 40 м. Следствием ее применения в современных условиях является рост числа многорадиусных кривых. Это связано с существующим порядком паспортизации кривых [6].

В настоящее время этот порядок определяется двумя практически идентичными документами [59, 60]. В них моделью кривой называется идеальная правильная кривая максимально приближенная к фактическим очертаниям кривой.

Обязательными условиями паспортных характеристик кривой являются: соблюдение требований действующих нормативных документов ОАО «РЖД» для установленной скорости движения поездов;

положение в плане максимально приближено к фактическим очертаниям кривой и отличается от существующего не более, чем предельно возможные

сдвиги пути, ограниченные габаритными, техническими, технологическими и иными требованиями.

Расчетные величины отклонений положения кривой от модели не являются проектными сдвигами при выправке кривой, так как при компьютерном моделировании не учитываются конкретные условия на пути. Эти данные являются оценкой возможных изменений параметров устройства кривой для ее приведения к рациональным (оптимальным) характеристикам [61] и утверждении их в качестве паспортных, однако расчет сдвигов при этом не предусмотрен.

Для кривых согласно [62], несоответствующих установленной скорости, служба пути должна с учетом технико-экономического обоснования принять решение либо о постоянном изменении скорости и повторном моделировании кривой для новой скорости, либо о реконструкции кривой – если уменьшение скорости является недопустимым. В случае изменения характеристик плана пути, требующих больших сдвижек необходимо привлечение проектной организации [63].

Сравнительный анализ с зарубежными нормативами [64] показывает, что если за рубежом отклонения от проектного положения допускаются в пределах 15-25 мм, то в наших условиях кривая относится однорадиусной, если отклонения (Δu) фактического положения в плане от аппроксимирующей идеальной кривой (модели кривой) меньше 10 см [65]. Положение идеальной кривой определяется специальной программой «моделирования кривых», моделирующей расчет в автоматизированном режиме при этом алгоритм этого расчета не отображается, что так же было отмечено в трудах Бучкина В.А., Ленченковой Е.П., [61].

Требования к порядку расчета сдвижек не приводятся за исключением ссылки на то, что величины необходимых сдвижек и подъемов при выправке пути для приведения кривых к утвержденным паспортным характеристикам определяются автоматизированной системой управления выправочной машиной. При этом не ясно, как определить проектное положение с учетом

возможных сдвижек, если сами сдвиги определяются в процессе производства работ по выправке.

Другое принципиальное отличие от зарубежных нормативов состоит в том, что там паспортное положение является постоянным и не меняется в процессе эксплуатации, а у нас при каждой паспортизации «идеальная кривая» должна быть максимально приближена к фактическому положению кривой. Такой подход и ведет к превращению однорадиусных кривых с постоянными по длине деформационными и износными характеристиками в многорадиусные, когда показатели расстройств и износов меняются по длине кривой. Положение усугубляется несоответствием фактических скоростей движения проектным из-за высокой плотности поездопотока, а также наличия смешанного движения, при котором возвышение наружного рельса соответствует нормам безопасности движения пассажирских составов, зачастую приводя к невозможности обеспечить установленную скорость для грузовых составов [45].

Для решения поставленных задач при изысканиях стала широко применяться тахеометрическая съемка с компьютерной обработкой информации [61,63], но ввиду ее трудоемкости были разработаны программы на основе компьютерной обработки информации с датчиков МСД, что позволяет контролировать параметры кривых в постоянном режиме.

Этот метод необходим на участках скоростного движения и при оценке накопления неровностей в плане на участках тяжеловесного движения. По существующим нормам и инструкциям по оценке состояния рельсовой колеи Мобильными средствами диагностики (МСД) и мерам по обеспечению безопасности движения поездов [67, 68] в качестве одного из этапов постобработки информации, полученной с МСД, предлагается «моделирование кривых», которое представляет собой аппроксимацию фактического положения пути, прямыми отрезками, описывающими круговые и переходные кривые, максимально приближенными к фактическому положению оси пути в плане, с определением величин отклонений фактического положения от модельной

аппроксимации (пример приведен на рисунке 1). На основании моделирования предлагается «выявлять ошибки в проектах, требующие обязательного исправления». В Инструкции отмечено, что такой ошибкой является ситуация, когда «количество и величина радиусов в проекте не соответствуют фактическому положению пути и требуются сдвиги с земляного полотна (сдвиги более 0,5 м)», что на практике часто является трудно выполнимым.

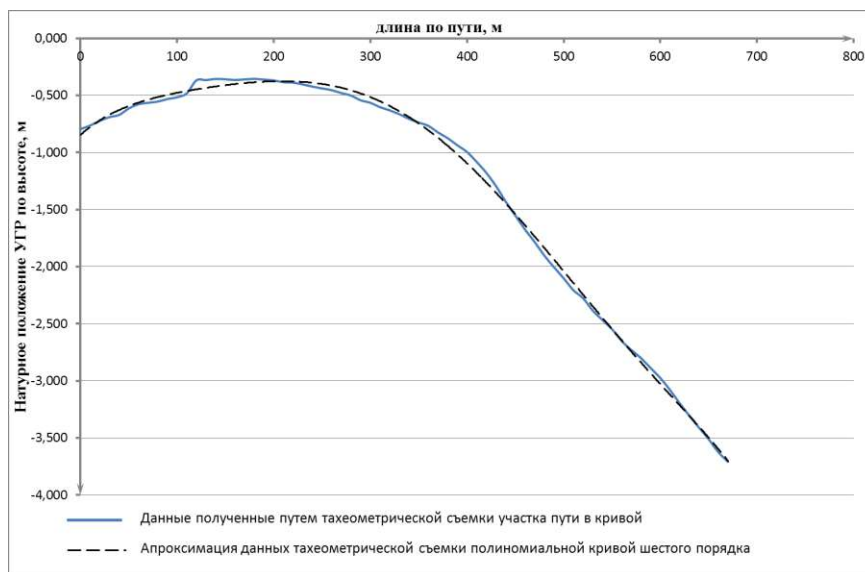


Рисунок 4.1 – Пример аппроксимации участка пути в круговой кривой по преобразованным данным МСД.

Где: по оси X отображена линейная длина участка пути в кривой;
по оси Y показано пространственное положение уровня головки рельса по вертикали наружного рельса.

Оценка параметров устройства кривых осуществляется в зависимости от установленной скорости движения поездов, Каменский В. Б., Шац Э. Я. [69].

Контролируемыми величинами кривой, по которым производится оценка параметров ее устройства, являются:

радиус и возвышение наружного рельса;

длины переходных кривых и несовпадения отводов кривизны и возвышения;

крутизна отвода возвышения наружного рельса (i) в переходных кривых;

величина местного непогашенного горизонтального ускорения, рассчитанная на всей кривой по фактическим величинам кривизны и возвышению;

величина непогашенного ускорения в кривой, рассчитанная как средняя величина ускорения в круговой части кривой;

скорость изменения непогашенного ускорения (ψ).

Таким образом, до 2022 года действовал порядок оценки неровностей в плане и установления скоростей движения только в зависимости от параметров отдельных неровностей и разности смежных стрел изгиба, при этом рассматриваются только неровности длиной до 40 м, что явно недостаточно при скоростном и высокоскоростном движении [68]. Отклонения от паспортного положения в документации до 2022 года не нормировались. Отсутствовали нормативы устройства и содержания пути в плане для участков скоростного и высокоскоростного движения.

Расчеты и результаты эксплуатационных наблюдений показывают, что разброс радиусов в пределах одной кривой при постоянном возвышении приводит к непостоянству величин непогашенного ускорения и, следовательно, к различной интенсивности бокового износа рельсов. Например, в кривой радиусом 650 м при изменении значения радиуса в пределах 10% разница пропущенного тоннажа до достижения предельного бокового износа составит 8 млн. т груза брутто, при 15% — 15 млн. т, при 20% — до 25 млн. т. В кривых малого радиуса разброс величин еще больше.

Таким образом, действующая система оценки состояния пути в плане до 2022 года нуждалась в существенном совершенствовании в части оценки отклонения положения кривых в плане от проектного положения, в том числе для скоростных линий, а также разработке механизма оценки этих отклонений и комплекса возможных мер по улучшению положения пути в плане.

Для упрощения и автоматизации процесса обработки параметров устройства и содержания кривых на стадиях эксплуатации, возможно, использовать методы цифровой обработки сигналов [69], полученных с МСД.

Одним из таких методов является использование преобразования Фурье. Поскольку стрелы на МСД измеряются хордовыми методами, основным недостатком метода является искажение формы и ограниченный диапазон длин неровностей и положения пути. По этой причине требуются более детальная обработка данных с подтверждением их точности и актуальности при помощи натурной съемки оптическим тахеометром.

Принцип обработки стоит в том, что любой периодический сигнал $f(t)$ можно представить в виде суммы бесконечного числа синусоидальных и косинусоидальных членов. Для этого используются данные с датчиков МСД (сигнал записи просядок пути) в кривых участках пути, которые можно преобразовать в натурные неровности и определить фактическое положение кривой [70]. Поскольку аналоговый сигнал состоит из большого числа данных, описать все их значения практически невозможно. Следовательно, для использования в цифровой системе аналоговые значения следует квантовать через равные промежутки времени, а затем преобразовать в цифровой бинарный код для опытных участков кривых пути как однорадиусных, так и многорадиусных в различном диапазоне радиусов, например: <350, 351-650, >650 м. В результате данных преобразований мы получаем параметры, основанные на данных не короткого отрезка пути (10, 20 или 30 м), получаемых при хордовом методе, а на всей протяженности опытного участка, что позволяет выявлять отклонения, в том числе длинные неровности с высокой точностью в заданной системе координат [71].

Таким образом, обработка данных координатной съемки состоит в получении исходного множества точек съемки, описывающего кривую в пути. После распознавания последовательности точек, определяющих положение оси пути, создается математическая модель плана существующей линии. Для этого отрезки пути между точками съемки должны быть описаны некоторыми кривыми, формируя математическую модель оси существующего пути между точками съемки. Для этого может быть использовано специальное программное обеспечение, например SLAVIA, позволяющее обеспечить

автоматизированную обработку данных кодированной координатной съемки существующих путей железных дорог.

Расчет выправки кривой по результатам тахеометрической съемки в проектных организациях так же производится с помощью лицензированных программ [72]. Результатом обработки проектного положения кривой в плане приведены на рисунке 2 с расчетным положением трапеции участка дороги в кривой и наложенного на нее профиля железной дороги.

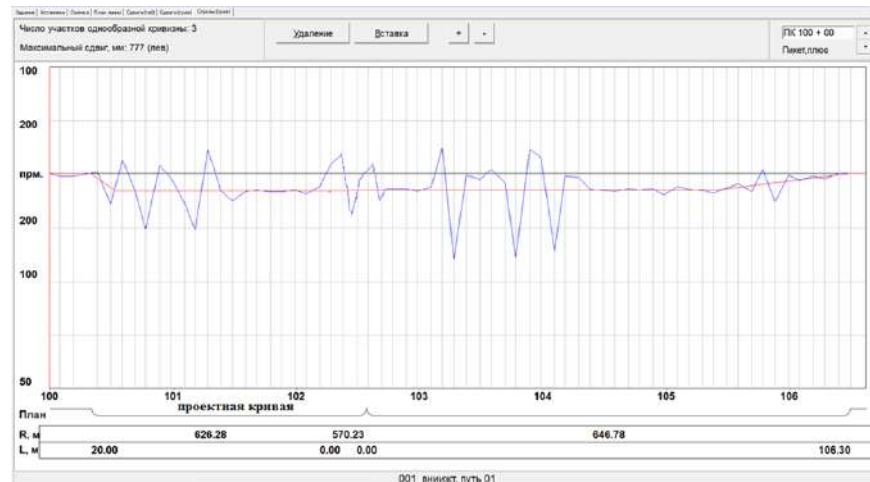


Рисунок 4.2 – Пример расчета участка железной дороги в кривой при помощи программы SLAVIA, где: по оси X отображена длина участка пути в кривой в виде трапеции (переходной кривой и круговой кривой), а также наложенной неровностью пути полученной по результатам тахеометрической съемки кривой с постобработкой данных.

Этот способ может стать основой методики контроля установленных параметров устройства и содержания пути, в том числе и на кривых участках. В результате выравнивания кривой методом стрел изгиба (короткими хордами) смещения радиусов в пределах одной круговой кривой в зависимости от проектной величины доходит до 20%, пример приведен на рисунке 4.3.

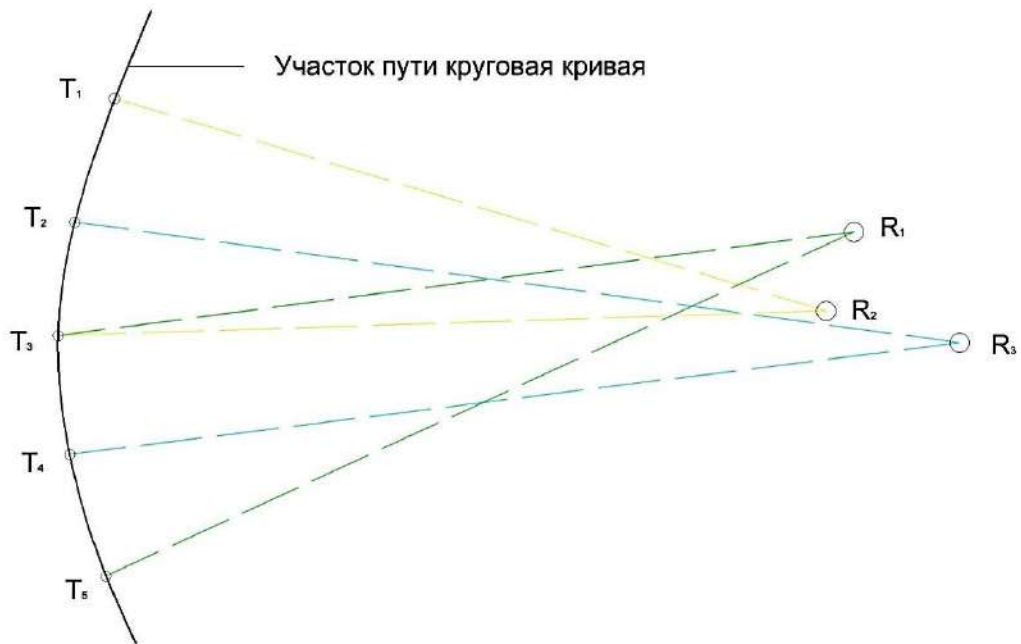


Рисунок 4.3 – Пример наложение радиусов по трем точка на участок круговой кривой: R1, R2, R3 центры радиусов участка круговой кривой; T1, T2, T3, T4, T5 точки тахеометрической съёмки участка пути в кривой по наружному рельсу.

Этапность разработки методики включает в себя:

верификацию способа определения натуральных неровностей в плане по данным МСД сопоставленными с результатами тахеометрической съемки;

расчет проектного положения пути по лицензированным программам;

разработку методики сопоставления фактического и проектного положения пути по:

а) отклонениям в точках деления кривой, таких как начало круговой кривой, круговая кривая, вершина круговой кривой, конец круговой кривой;

б) по макропоказателям контролируемых параметров, таких как величин сдвижек пути, расположение искусственных сооружений и контактной сети;

разработку систем нормирования отклонений фактического положения пути от проектного.

На основании проведенного анализа можно констатировать, что за паспортное положение кривых участка пути следует принимать проектное решение, полученное на основании геодезических съемок с определением

координат точек кривой с частотой, позволяющий выявлять неровности в плане длиной от 10 до 100 м. Отмечена высокая сходимость преобразованных данных с МСД и тахеометрической съемки. Результаты приведены на рисунке 4. Разность полученных неровностей пути обусловлена условиями получения исходных данных, а именно с МСД под нагрузкой, а по тахеометрической съемке без нагрузки на рельс.

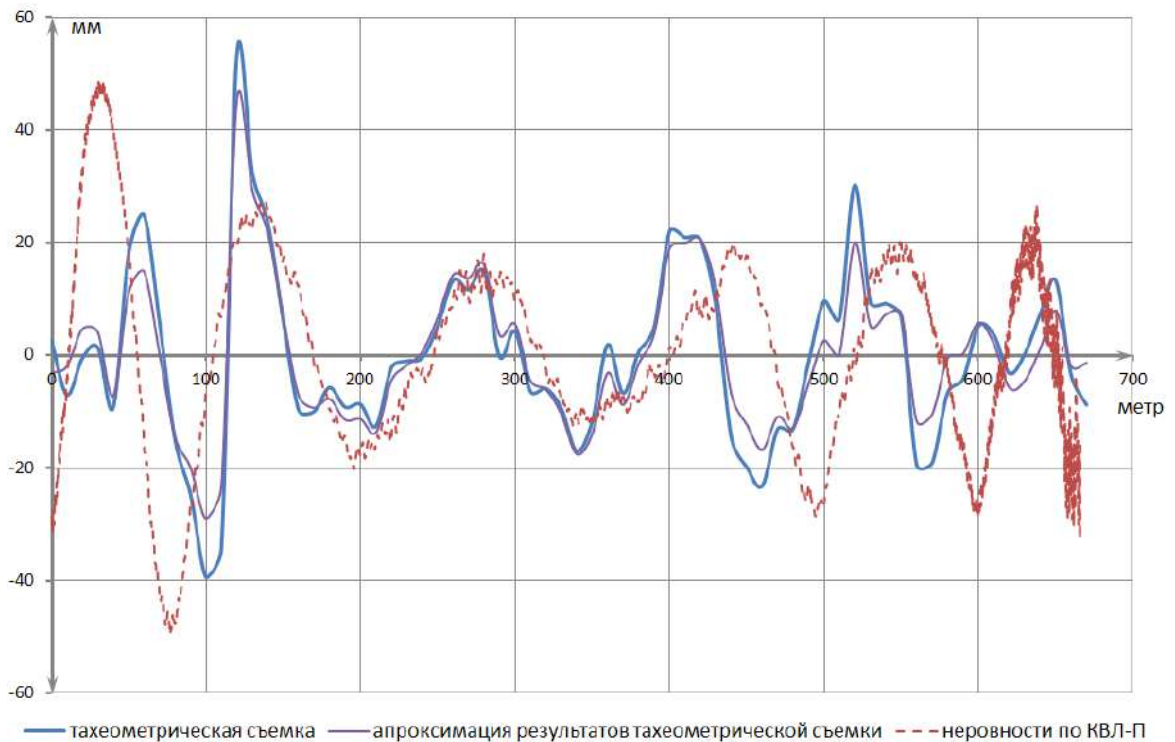


Рисунок 4.4 – Пример сходимости длинных неровностей на участке круговой кривой по тахеометрической съемке и данных получаемых с МСД.

Проектное решение должно представлять собой, по возможности, однорадиусную кривую, построенную по результатам промеров с учетом возможности производства сдвигов.

Для однорадиусных кривых паспортным должно считаться положение, полученное в ходе проектирования с использованием типовых программных продуктов, представляющее собой по возможности, однорадиусную кривую максимально приближенную к однорадиусному положению в пределах возможных при данной работе сдвижек и учитывающие необходимость устранения неровностей в плане длиной до 100 м.

Для многорадиусных кривых это требование распространяется на каждый элемент плана.

На основании полученных данных можно констатировать, что методика организации и контроля установленных параметров устройства и содержания пути в кривых должна базироваться на результатах тахеометрической съемки или на основе обработанных данных выше описанным способом или аналогичным преобразованием информации, полученной с МСД для контроля параметров устройства и содержания кривых стандартизированными методами. Проектное положение кривой, фиксируется на основе паспортного положения с последующим отклонением от пространственного положения, для контроля положения кривой. [73]

4.2 Определение возвышения наружного рельса в кривых по допустимым скоростям

Оптимизация возвышения наружного рельса в кривых участках пути постоянно находится в зоне внимания ученых и специалистов путевого хозяйства. Если проследить историю вопроса, то легко обнаружить, что подход к его решению неоднократно менялся в зависимости от условий работы транспорта. Так, в Приказе Министерства путей сообщения СССР № 39/ЦЗ от 21 января 1950 г. [74] указано (§ 2), что возвышение наружного рельса в кривых на перегонах назначается в зависимости от радиуса кривой и скорости на данном участке, установленной тяговыми расчетами для наиболее скорых поездов по графику движения, согласно формулы (4.1):

$$h = 8 \frac{V^2}{R}, \quad (4.1)$$

где, соответственно, V – скорость движения поездов, км/ч, R – радиус кривой, м.

По этой же формуле определялось возвышение наружного рельса для всех промежуточных значений радиуса и скорости.

Характерно, что дифференциация возвышения в зависимости от характера движения – грузовое или пассажирское – не производилась, так как разрыв в скоростях при паровозной тяге был на большей части сети небольшой, а основу парка грузового подвижного состава представляли двухосные вагоны с небольшими нагрузками на ось. В книге профессора Г.М. Шахунянца «Железнодорожный путь» [75] для расчета возвышения предлагается формула (4.2):

$$h_0 = \frac{S_1 V_0^2}{gR} - e_1 + e_2 + e_3 + e_4, \quad (4.2)$$

где V_0 – средневзвешенная по тоннажу скорость движения;

S_1 – ширина колеи по кругу катания;

R – радиус кривой;

e – поправки, учитывающие влияние различных факторов: e_1 – силы тяги, e_2 – рессорного подвешивания, e_3 – ветра, e_4 – разных нагрузок на рельсовые нити.

Для практических расчетов с учетом лубрикации полагалось пользоваться только первыми членами формулы. Однако в современных условиях при широком распространении тяжеловесного движения учет силы тяги вновь приобретает актуальность [76], поскольку она значительно влияет на износ в зоне контакта колес и рельсов.

Начиная с Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути ЦП/2023 от 1959 г., величины возвышения в кривых определяются по формуле (4.3) [77, 78, 79]:

$$h = 12,5 \frac{V_{\text{прив}}^2}{R}, \quad (4.3)$$

Здесь $V_{\text{прив}}$ – приведенная скорость поездопотока, км/ч, вычисляемая по формуле (4.4):

$$V_{\text{прив}} = \sqrt{\frac{\sum n_i Q_i V_{\text{ср}}^2}{\sum n_i Q_i}}, \quad (4.4)$$

где Q_i – масса данного (i -го) вида поезда;

n_i – суточное количество поездов i -го вида;

V_{cp} – средняя скорость движения поездов i -го вида по данной кривой.

Величина возвышения проверяется по формуле (4.5):

$$h_{min} = 12,5 \frac{V_{max\text{пасс}}^2}{R} - 115, \quad (4.5)$$

где h_{min} – минимальное расчетное возвышение наружного рельса;

$V_{max\text{ пасс}}$ – максимальная допустимая скорость пассажирских поездов, установленная для данной кривой;

115 – величина допустимого максимального недовозвышения наружного рельса, рассчитанная из условия непревышения установленной нормы непогашенного ускорения $0,7 \text{ м/с}^2$.

В Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути ЦП/774 от 2000 г. отмечено, что величина локальной скорости пассажирского поезда не должна превышать скорости по тяговому расчету для ведущей серии локомотива.

Принципиальное значение для совершенствования порядка установления возвышения имело Распоряжение об утверждении Временного руководства по определению возвышения наружного рельса и допустимых скоростей движения в кривых № ЦПТ-44/17 от 22.08.2009 [80]. В этом Распоряжении впервые в нормативной документации величина возвышения поставлена в зависимость от соотношения скоростей грузовых и пассажирских поездов. Такого подхода целесообразно придерживаться и в современных условиях эксплуатации.

Резюмируя результаты проведенных исследований и действовавших ранее нормативных документов, можно отметить следующую логическую нестыковку: в большинстве документов значится, что скорости, используемые для расчета возвышения, не должны превышать скорости по тяговым расчетам, но в то же время за максимальные принимались допустимые скорости движения из приказов и распоряжений МПС по дорогам. Допустимые скорости представляют собой потенциально возможные скорости движения в зависимости от конструктивных особенностей подвижного состава, плана

линии и параметров непогашенного ускорения. Ограничения скоростей, действовавшие для легких типов верхнего строения, были исключены уже из Приказа МПС 41/ц от 12.11.2001 [31] в связи с лежащими в пути почти по всей сети рельсами Р65.

Существующий порядок установленных заданий по непрерывному повышению средневзвешенных скоростей движения также не способствует установлению рациональных, с точки зрения воздействия на путь, скоростей движения. А существующие принципы расчета выправки и паспортизации кривых, предусматривающие максимальное приближение проектных решений к существующему положению пути и минимизацию суммы сдвигов при проектировании и выполнении рихтовочных работ, объективно ведет к появлению многорадиусных кривых вместо однорадиусных.

Принятая на российских железных дорогах оценка положения пути в плане только по разности смежных стрел изгиба также способствует образованию многорадиусных кривых вместо однорадиусных с бесконечным изменением расчетных параметров. Такой подход отличается от применяемого в большинстве стран метода оценки состояния кривых по отклонениям от проектного положения и нормированию величин натуральных неровностей в широком диапазоне их длины. Эти отличия особенно сказываются при скоростном и высокоскоростном режимах движения, когда отступления по рихтовке напрямую влияют на плавность хода поездов.

Используя накопленный научный опыт, для системного улучшения положения кривых в плане необходимо, прежде всего, разобраться с терминами и определениями. Очевидно, что допускаемые скорости движения не позволяют учитывать различия между скоростями грузовых и пассажирских поездов, а также ограничения, вызванные состоянием пути.

В отличие от **допускаемых** скоростей движения, **допустимые** скорости устанавливаются с учетом фактического состояния пути, что значительно приближает эти скорости к требованиям указаний МПС Г-4477у от 21 августа 1987 г. и С-333у от 17 марта 1997 г., предусматривавших необходимость учета

результатов тяговых расчетов и наличия постоянных и длительных ограничений скорости на участках. Допустимые скорости с 30 апреля 2019 г. регламентирует ГОСТ 345-30–2019.

Таким образом, в связи с нарастающей дифференциацией условий работы сети, связанной с ростом масс поездов и грузонапряженностью основных направлений, определение возвышения наружного рельса в кривых по допускаемым скоростям приводит к появлению избыточного возвышения, что резко отрицательно сказывается на работе рельсов, как наружной, так и внутренней нити в кривых.

Одним из решений данной проблемы в настоящих условиях может стать подход, при котором возвышение наружного рельса в кривых устанавливается по допустимым скоростям движения. А допускаемые скорости в этом случае используются как вариант допустимых при отсутствии ограничений по тяге и состоянию пути. Практически же, возвышение по допускаемым скоростям возможно устанавливать на скоростных и высокоскоростных линиях [39].

Для исключения образования пилообразного графика движения допустимые скорости должны сглаживаться на участках достаточного протяжения:

при 140 км/ч и более – длиной 15-20 км;

при 120 км/ч – длиной 10-15 км;

при 100 км/ч – длиной 7-10 км;

при 90 км/ч – длиной 5 км;

при 80 км/ч и менее – длиной 3 км.

Ниже приведены основные расчетные формулы для установления возвышения наружного рельса в кривых участках.

Величина непогашенного ускорения, м/с^2 , определяется по формуле (4.6):

$$a_{\text{нп}} = \frac{V^2}{12,96R} - g \frac{h}{S}, \quad (4.6)$$

где V – расчетная скорость, км/ч;

R – радиус кривой, м;

g – ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/с}^2$;

h – возвышение наружного рельса, мм;

S – ширина колеи по среднему кругу катания, мм.

По условиям обеспечения безопасности движения поездов номинальное значение максимального поперечного непогашенного ускорения ($a_{\text{нп}}$), направленного наружу кривой, не должно превышать $0,7 \text{ м/с}^2$ на уровне буксы подвижного состава.

Величина возвышения наружного рельса, мм, обеспечивающая соблюдение этого условия для поезда, движущегося с максимальной скоростью, определяется по формуле (4.7):

$$h_{V_{\text{max}}} = 12,5 \frac{V_{\text{max}}^2}{R} - 115 , \quad (4.7)$$

Скорость изменения непогашенного ускорения, м/с^3 , (4.8)

$$\psi = \frac{\Delta a_{\text{нп}} V_{\text{max}}}{3,6l} , \quad (4.8)$$

где $\Delta a_{\text{нп}}$ – изменение непогашенного ускорения на переходной кривой;

l – длина переходной кривой.

Величина $[\psi]$ не должна превышать $0,6 \text{ м/с}^3$.

На участках преимущественно грузового движения диапазон допустимых отклонения непогашенного ускорения составляет $+0,3 \text{ м/с}^2$ и $-0,3 \text{ м/с}^2$. Возвышение наружного рельса определяется по формулам (4.9 – 4.10):

$$h_{V_{\text{гр}}} = 12,5 \frac{V_{\text{гр}}^2}{R} - 50 , \quad (4.9)$$

$$h_{V_{\text{гр}}} = 12,5 \frac{V_{\text{гр}}^2}{R} + 50 , \quad (4.10)$$

В современных условиях при организации грузового движения важно учитывать дифференциацию линий по грузонапряженности. Так на участках с грузонапряженностью свыше 80 млн. т брутто диапазон отклонения непогашенного ускорения в кривых целесообразно сократить в пределах $-0,2 - +0,3 \text{ м/с}^2$.

На участках преимущественно пассажирского движения возвышение, мм, возвышение рассчитывается по формуле (4.11):

$$h = 12,5 \frac{V_{\text{п допустим.}}^2}{R} - 100 \quad , \quad (4.11)$$

При заданных значениях $a_{\text{нп}}$, R и h скорость определяется по формуле (4.12):

$$V = 3,6 \sqrt{R(a_{\text{нп}} + 0,00613h)} \quad , \quad (4.12)$$

Для участков скоростного движения величина возвышения должна определяться по допускаемым скоростям при $a_{\text{нп}}=0,7 \text{ м/с}^2$. По заключению АО «ВНИИЖТ», для пассажирского подвижного состава с улучшенными динамическими качествами величина $a_{\text{нп}}$ может равняться 1 м/с^2 с разрешения ОАО «РЖД» в соответствии с Приказом Минтранса № 284 от 20.12.2020. В этом случае возвышение наружного рельса, мм, может быть определено по формуле (4.13):

$$h_{V_{\text{max пасс}}} = 12,5 \frac{V_{\text{пасс}}^2}{R} - 163. \quad (4.13)$$

Для поездов, состоящих из пассажирских вагонов, оборудованных системой наклона кузова в кривых, величина допускаемого непогашенного ускорения определяется по показателям динамики и прочности локомотивов, но не более $1,5 \text{ м/с}^2$, по заключению АО «ВНИИЖТ» в соответствии с Приказом Минтранса № 284 от 21.12.2010. При этом введению таких поездов в эксплуатацию на конкретных участках должно предшествовать подробное обследование участков, включая опытные поездки с поэтапным увеличением уровня непогашенных ускорений [43].

4.3 Основные направления и задачи решаемые в работе.

Новые подходы к определению параметров устройства и содержания кривых участков пути

По результатам проведенной работы разработаны для путевого комплекса нормативные документы — новое Руководство по определению возвышения наружного рельса в кривых и Инструкция, устанавливающая единый порядок устройства и содержания кривых участков пути на стадиях проектирования и

эксплуатации с целью минимизации расстройств и износов элементов верхнего строения пути. Эти документы — итог большой и продолжительной (более 25 лет) работы специалистов АО «ВНИИЖТ» и ОАО «РЖД», направленной на решение задачи оптимального содержания кривых. В 1997 г. вышло указание С-333у, предусматривавшее увязку величины возвышения наружного рельса в кривых при грузовом и пассажирском движении. Там же введено положение, что расчетная скорость для определения возвышения не должна превышать скорости, установленной тяговыми расчетами. Впоследствии неоднократно появлялись предложения устанавливать возвышение по фактическим скоростям движения поездов, не обращая внимания на «допускаемые» скорости, установленные в Приказе МПС 41/ц по дорогам [31]. Делать этого категорически нельзя, поскольку машинист, получив от диспетчера указание «на нагон», поведет поезд с разрешенной по Приказу [31] скоростью, что вызовет превышение непогашенным ускорением ($a_{нп}$) значения $0,7 \text{ м/с}^2$ со всеми вытекающими последствиями. В 2009 г. вышло Временное руководство по определению возвышения наружного рельса и допускаемых скоростей в кривых, утвержденное ОАО «РЖД» 22 августа 2006 г. ЦПТ-44/17 [80]. В разработке документов 1997 и 2009 гг. непосредственное участие принимал главный инженер ЦП, доктор технических наук В.Б.Каменский. Именно эти материалы заложили основу современных нормативов содержания кривых. Новое Руководство по определению возвышения наружного рельса в кривых и Инструкция, устанавливающая единый порядок устройства и содержания кривых участков пути на стадиях проектирования и эксплуатации, содержат ряд принципиальных отличий от ранее действовавших нормативных документов и, прежде всего, конкретизированную терминологию. Ранее во всех расчетах возвышения наружного рельса в кривых использовалась допускаемая скорость движения, т. е. скорость, определяемая в соответствии с Распоряжением ОАО «РЖД» от 8 ноября 2016 г. 2240р «О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм» как конструкционная скорость подвижного

состава по условиям прохождения кривых участков с максимально допустимым непогашенным ускорением ($0,7 \text{ м/с}^2$) и соответствующими показателями взаимодействия пути и подвижного состава [54]. В новых документах в соответствии с ГОСТ 34530—2019 [49] для расчетов используется допустимая скорость, представляющая собой скорость, устанавливаемую на основании тяговых расчетов с учетом технического состояния путевой инфраструктуры и подвижного состава, не превышающую его конструкционную скорость. Таким образом, формируется двухуровневая система скоростей — порядок, при котором устанавливаются допустимые и допускаемые скорости движения. При этом возвышение наружного рельса в кривых устанавливается по допустимым скоростям движения, а допускаемые скорости рассматриваются как вариант допустимых при отсутствии ограничений по тяге и состоянию пути. В новом руководстве по определению наружного рельса в кривых, утвержденном Распоряжением ОАО «РЖД» от 20.12.2021 2897/р, (далее — Руководство) узаконен отдельный порядок установления возвышения на линиях преимущественно грузового и пассажирского движения. Рассмотрим его более подробно.

4.3.1 Порядок установления возвышения наружного рельса в кривых по допустимым скоростям

На линиях грузового движения категорий О и Г величина возвышения определяется по предложению доктора технических наук В.М. Ермакова из условия движения поездов с допустимой скоростью при непогашенном ускорении 0 м/с^2 по формуле (4.14):

$$h_{V_{\max}} = 12,5 \frac{V_{\text{допустимая}}^2}{R}, \quad (4.14)$$

где $V_{\text{допустим.}}$ — допустимая скорость движения грузового подвижного состава, км/ч;

R — радиус кривой, м.

Скорость пассажирских поездов на таких участках определяется по формуле (4.15):

$$V = 3,6\sqrt{R(a_{\text{нп}} + 0,00613h)} \quad , \quad (4.15)$$

Результаты расчетов по этим формулам, в том числе для непогашенного ускорения пассажирских поездов 0,6 и 0,7 м/с², табулированы и представлены в Руководстве (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Пример табулирования величины возвышения в Руководстве для участков преимущественно грузового движения

Допустимая скорость грузового подвижного состава, км/ч	Возвышение наружного рельса в кривых при непогашенном ускорении $a_{\text{нп}} = 0 \text{ м/с}^2$, мм, в кривых радиусом, м																							
	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000	1200	1400	2000	2600	3200	3600	4000	4400
25	55	40	35	30	25	20	20	20	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
30	75	60	45	40	35	30	25	25	20	20	20	20	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
35	105	80	65	55	45	40	35	35	30	30	25	25	20	20	20	15	15	15	15	15	15	15	15	15
40	135	100	80	70	60	50	45	40	40	35	35	30	30	25	25	20	20	15	15	15	15	15	15	15
45	150	130	105	85	75	65	60	55	50	45	40	40	35	35	30	25	25	20	15	15	15	15	15	15
50	–	150	125	105	90	80	70	65	60	55	50	45	45	40	35	35	30	25	20	15	15	15	15	15
55	–	150	150	130	110	95	85	80	70	65	60	55	50	50	45	40	35	30	20	15	15	15	15	15
60	–	–	150	150	130	115	100	90	85	75	70	65	60	60	50	45	40	35	25	20	15	15	15	15
65	–	–	–	150	150	135	120	110	100	90	85	75	70	70	60	55	45	40	30	20	20	15	15	15
70	–	–	–	–	150	150	140	125	115	105	95	90	85	80	70	65	55	45	35	25	20	20	15	15
75	–	–	–	–	–	150	150	150	130	120	110	100	95	90	80	70	60	50	35	25	25	20	20	15
80	–	–	–	–	–	–	150	150	145	135	125	115	110	100	90	80	70	60	40	30	25	25	20	20
85	–	–	–	–	–	–	–	150	150	150	140	130	120	115	100	90	75	65	45	35	30	25	25	25

Допустимая скорость грузового подвижного состава, км/ч	Возвышение наружного рельса в кривых при непогашенном ускорении $a_{nn} = 0 \text{ м/с}^2$, мм, в кривых радиусом, м																							
	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000	1200	1400	2000	2600	3200	3600	4000	4400
90	-	-	-	-	-	-	-	-	150	150	150	145	135	130	115	105	85	75	55	40	35	30	25	25

На линиях преимущественно пассажирского движения категорий С и П возвышение рассчитывается по формуле (4.16):

$$h_{V_{\max}} = 12,5 \frac{V_{\text{п допустим}}^2}{R} - 100, \quad (4.16)$$

где $V_{\text{п допустим}}$ — допустимая скорость движения пассажирского подвижного состава, км/ч;

100 — результат вычисления выражения $(S/g)_{\text{анп}}$ для непогашенного ускорения $\text{анп} = 0,6 \text{ м/с}^2$.

При этом S — ширина колеи по среднему кругу катания, мм (в расчетах принимается равной 1600 мм);

g — ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

На таких участках скорость грузовых поездов определяется по следующей формуле (4.17):

$$V_{\text{гр}} = 0,28 \sqrt{R(h + 20)}. \quad (4.17)$$

Все расчетные величины табулированы и приведены в приложении к Руководству.

Расчетную величину возвышения рекомендуется округлять до значений, кратных 5 мм: на спусках — в большую сторону, на подъемах — в меньшую, а на площадках — по правилам статистики.

При повышенной интенсивности бокового износа рельсов полученные расчетом величины возвышения могут корректироваться по местным условиям в пределах 15 % распоряжением начальника службы пути.

В качестве тестовой задачи были сопоставлены результаты расчетов по Руководству с фактическими значениями возвышений на одном из участков

сети, где они были установлены по скоростям, называемым на дороге «допустимыми» (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Сопоставление результатов расчетов

№ кривой	Радиус, м	Скорость по приказу дороги, км/ч, пасс/груз	Установленная скорость, км/ч, пасс/груз	Допустимая скорость км/ч, груз	h _{сущ.} , мм	h, мм, по Руководству	Разница h
1	530	80/70	80/70	65	115	105	-10
2	420	80/70	80/70	65	120	125	5
3	1990	80/70	80/70	65	20	30	10
4	800	80/70	80/70	65	55	70	15
5	430	80/70	80/70	65	115	125	10
6	630	80/70	80/70	65	55	85	30
7	620	90/70	80/70	65	75	85	10
8	1255	90/80	100/80	65	35	40	5
9	880	90/80	100/80	65	75	60	-15
10	1894	90/80	100/80	70	20	30	10
11	712	90/80	100/80	70	65	75	10
12	1220	90/80	100/80	70	30	45	15
13	760	90/80	100/80	70	75	70	-5
14	1390	100/80	100/80	70	40	40	0
15	1050	100/80	100/80	70	40	50	10

Как видно из представленных данных, различия лежат в пределах 15-процентного допуска за исключением участка 6, где разница составляет 30 мм. При детальном анализе было отмечено, что эта кривая лежит на подъеме с уклоном 10—7 ‰, где приведенная «допустимая» скорость явно завышена. Если подставить в расчет скорость электровоза при длительном режиме движения на подъем, расчетная величина возвышения оказывается близкой к фактической.

Поскольку допустимые скорости, полученные по результатам тяговых расчетов, близки к реальным, Руководство становится эффективным рабочим инструментом по оптимизации величин возвышения в кривых, позволяющим в значительной мере снять противоречия между установленными по приказу дороги и фактически реализуемыми скоростями движения.

Не решенным остается вопрос, как формализовать определение

возвышения на участках, где вследствие высокой плотности поездопотока составы постоянно следуют с замедлением на желтый сигнал светофора (например, перед крупными станциями), хотя по тяговым расчетам скорость в данном месте может быть выше.

4.3.2 Порядок определения параметров устройства и содержания кривых участков пути

Основная задача Инструкции, определяющей единый порядок устройства и содержания кривых участков пути на стадиях проектирования и эксплуатации с целью минимизации расстройств и износов верхнего строения пути, которая утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 24.01.2022 № 131/р, (далее — Инструкция) — остановить процесс превращения однорадиусных кривых в многорадиусные, как на стадиях проектирования, так и при эксплуатации.

В действующей нормативной документации (Распоряжение ОАО «РЖД» от 1 апреля 2021 г. № 674/р «О внесении изменений в некоторые документы ОАО «РЖД» по вопросу оценки состояния рельсовой колеи» [20]) предусмотрен порядок выявления кривых, не соответствующих установленным скоростям движения поездов и характеристикам в базе паспортных данных. Однако в Распоряжении [20] отсутствует методика содержания пути при отклонениях от проектного положения точек кривой и только указано, что «модель кривой — это идеальная правильная кривая (описываемая кубическими параболами и круговыми кривыми), максимально приближенная к фактическим очертаниям кривой». Такой подход, направленный на приближение к фактическим очертаниям кривой, а не к ее проектным характеристикам и ведет к образованию большого количества многорадиусных кривых на сети ОАО «РЖД». В этом, заключается принципиальное отличие отечественного подхода к содержанию кривых участков пути от зарубежного, где в основу положена минимизация отклонений от проектного положения.

Целью Инструкции является установление единого порядка устройства кривых участков пути с учетом требований Руководства по определению возвышения наружного рельса в кривых для минимизации расстройств и износов верхнего строения пути (бокового и вертикального износа рельсов и накопления деформаций по положению пути в плане) и обеспечения плавности хода поездов.

Инструкция регламентирует следующие действия:

установление двухуровневой системы определения и использования разрешенных скоростей движения и определения возвышения наружного рельса в кривых;

дополнительную оценку параметров устройства и содержания пути по отклонениям от проектного положения точек кривой и организацию текущего содержания кривых в части соблюдения проектных параметров;

нормирование параметров устройства кривых при разработке проектов реконструкции линий и всех видов ремонтов.

Инструкция предназначена для путей, по которым осуществляется движение поездов со следующими скоростями: грузовых — до 90 км/ч; контейнерных и пассажирских — до 160 км/ч; скоростных — до 200 км/ч.

Инструкция разделяет понятия проектное положение пути в плане при проведении ремонтных работ и проектное положение пути в плане при реконструкции и предусматривает приведение натурального положения кривой в плане (при наличии отклонений геометрических параметров от номинальных значений) к проектному в следующих случаях:

при производстве ремонтов и планово-предупредительной выправки, допускающих согласно таблиц 4.1 и 4.2 Правил назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденных Распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р, перестановку не более 5 % опор контактной сети без реконструкции земляного полотна [44];

при реконструкции пути (например, для организации скоростного движения), допускающей согласно СТÓ сдвигку земляного полотна или

переход на новую трассу.

В Инструкции следующим образом трактуются области применения параметров устройства и содержания кривых:

параметры устройства кривых, установленные с целью минимизации расстройств и износа верхнего строения пути (бокового и вертикального износа рельсов и накопления деформаций по положению пути в плане), используются для оценки их соответствия установленным скоростям движения;

параметры содержания кривых применяются для организации технического обслуживания и текущего содержания пути.

При этом согласно Руководству допустимые скорости движения разрабатываются дирекциями инфраструктуры и утверждаются первым заместителем генерального директора ОАО «РЖД». Допустимую скорость рекомендуется назначать с учетом возможности ее реализации поездами на участке достаточной протяженности [88].

Проверка возможности реализации установленной скорости осуществляется тяговыми расчетами, выполненными организациями, обладающими членством в СРО (саморегулируемой организации), при наличии специалистов, включенных в Национальный реестр специалистов по изысканиям и проектированию (а для строителей — по строительству).

Новая Инструкция предусматривает нормативы и порядок дополнительной оценки параметров устройства и содержания пути по отклонениям от проектного положения точек кривой. При этом оценку деформативных характеристик пути, относящихся в соответствии с [88] к дополнительным контролируемым параметрам содержания кривых, предложено проводить согласно п. 3.1 части III Методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности, утвержденной Распоряжением ОАО «РЖД» от 22 декабря 2017 г. № 2706/р.

В Инструкции отмечено, что отклонение фактического радиуса кривой от проектного в каждой ее точке не должно превышать величину, соответствующую нормативам [88] по отклонениям в плане II степени.

Согласно Инструкции одним из главных параметров, демонстрирующих качество содержания кривой, является степень стабильности ее характеристик. Степень стабильности кривой по ее длине может быть оценена статистическими характеристиками стрел изгиба, в частности, коэффициентом вариации величин стрел, определяемым по формуле (4.18):

$$C_v = \sigma_f / f \quad , \quad (4.18)$$

где C_v — коэффициент вариации;

σ_f — среднеквадратическое отклонение величин стрел изгиба в круговой кривой, мм;

f — средняя стрела изгиба, мм.

При $C_v \leq 0,3$ стабильность характеристик кривой по длине не является отличной; при $0,31 \leq C_v \leq 0,4$ — хорошей; при $0,41 \leq C_v \leq 0,5$ — удовлетворительной. При $C_v > 0,5$ кривую следует считать расстроенной и подлежащей выправке.

Порядок организации работ по содержанию кривых в части соблюдения проектных параметров предусматривает их выполнение в два этапа. К первому относится выправка кривых в плане методом сглаживания без расчета сдвижек, что обычно выполняется при текущем содержании для устранения отдельных горизонтальных неровностей. Второй этап предусматривает устранение отступлений кривой от базового положения по проектам выправки, включая расчеты сдвижек, и производится при плановых ремонтах пути или специальных рихтовочных работах.

При наличии технико-экономического обоснования возможно увеличение количества радиусов кривой.

Для исключения многократных расчетов по определению положения кривой и для обеспечения ее постоянства относительно заданного или известного проектного положения может быть применен метод, основанный на решении системы линейных уравнений [90] следующего вида (4.19):

$$-\frac{1}{2} \Delta_{n-1} + \Delta_n - \frac{1}{2} \Delta_{n+1} = f_{\text{натурн.}} - f_{\text{проектн.}} = \xi_n \quad . \quad (4.19)$$

где Δ_{n-1} — сдвигка натурной кривой для приведения в проектное положение в точке n-1 круговой кривой, мм;

Δ_n — сдвигка натурной кривой для приведения в проектное положение в точке n круговой кривой, мм;

Δ_{n+1} — сдвигка натурной кривой для приведения в проектное положение в точке n+1 круговой кривой, мм;

$f_{\text{проектн.}}$ — стрела, мм, проектного радиуса от хорды, равной 20 м;

$f_{\text{натурн.}}$ — стрела, мм, натурального радиуса от хорды, равной 20 м;

ξ_n — разность между натурной и проектной стрелами, мм, в точке n.

Пример расчета сдвижек точек кривой для постановки ее в проектное положение представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчет сдвижек, мм, для приведения кривой в проектное положение

№ точки, n	$f_{\text{натурн.}}$	$f_{\text{проектн.}}$	ξ_n	Δ_n	Δ_n (округленное значение)
0	0	0	0	-2,533	-3
1	16	8	-8	-5,066	-5
2	14	26	12	8,4	8
3	52	44	-8	-2,133	-2
4	32	53	21	3,333	3
5	85	53	-32	-33,2	-33
6	36	53	17	-5,733	-6
7	61	53	-8	-12,27	-12
8	34	53	19	-2,8	-3
9	82	53	-29	-31,33	-31
10	38	46	8	-1,866	-2
11	26	28	2	11,6	12
12	0	10	10	21,066	21
13	0	0	0	10,533	11

Таким образом, новые подходы к определению параметров устройства и содержания кривых участков пути являются важным шагом в направлении улучшения состояния железнодорожной инфраструктуры. [89].

Современный подход к установлению возвышения наружного рельса обязательно должен учитывать реальные условия эксплуатации. Это важно для дальнейшего развития скоростного движения, с одной стороны, и для снижения

бокового износа рельсов на грузовых направлениях – с другой. Решением этой задачи стало введение двухуровневой системы назначения скоростей – допускаемых и допустимых. Это порядок, при котором возвышение наружного рельса устанавливается по допускаемым скоростям движения, представляющим собой потенциально возможные скорости движения в зависимости от конструктивных особенностей подвижного состава, плана линии и параметров непогашенного ускорения, и устанавливает возвышение наружного рельса по допустимым скоростям, являющимися непосредственно параметром, по которому осуществляется фактическое движение поездов. Это позволит ликвидировать избыток возвышения и его последствия в виде износов и роста показателей взаимодействия пути и подвижного состава.

Предложенная, по результатам исследований, оценка параметров устройства кривой по отклонениям от проектного положения приведена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Оценка параметров устройства кривой по отклонениям от проектного положения.

№ п/п	Параметры и условия приемки (не приемки) пути. Средства контроля	Значения параметров отремонтированного пути при видах ремонта																
		КРН, КРС					РС, РП					С, П, В						
		скорость движения поездов, км/ч																
		≤100	101-140	141-160	161-200	201-250	≤100	101-140	141-160	161-200	201-250	≤100	101-140	141-160	161-200	201-250		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1.	Отклонения фактического радиуса кривой от проектного, % ³	принимается	≤ 10	≤ 8					≤ 10	≤ 8					–	–	–	–
		не принимается ¹	> 10	> 8					> 10	> 8					–	–	–	–
2.	Отклонения фактического возвышения в кривых от проектного, мм ³	принимается	≤ 8		≤ 6	≤ 4		≤ 8		≤ 6			≤ 8		≤ 6			
		не принимается	> 8		> 6	> 4		> 8		> 6			> 8		> 6			
3.	Соответствие параметров кривой проектной	принимается	соответствует (по непогашенному ускорению, скорости его изменения, крутизне отвода возвышения)															
		не	не соответствует															

¹ Требования распространяются на кривые радиусом 1200 м и менее. Если отклонение среднего радиуса от проектного превышает установленное значение, а устранение отклонения требует досыпки земляного полотна, то принимается решение об изменении проектного радиуса с внесением корректировок в проект.

№ п/п	Параметры и условия приемки (не приемки) пути. Средства контроля	Значения параметров отремонтированного пути при видах ремонта																
		КРН, КРС					РС, РП					С, П, В						
		скорость движения поездов, км/ч																
		≤100	101-140	141-160	161-200	201-250	≤100	101-140	141-160	161-200	201-250	≤100	101-140	141-160	161-200	201-250		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	скорости ³	принимается																
4.	Несовпадение точек начала и конца переходных кривых по возвышению и кривизне (за исключением несовпадений в стесненных условиях), м ^{3, 2}	принимается	не более 10 м	не более 5 м		не более 10 м	не более 5 м		не более 10 м	не более 5 м		не более 10 м	не более 5 м					
		не принимается	более 10 м	более 5 м		более 10 м	более 5 м		более 10 м	более 5 м		более 10 м	более 5 м					

² При условии, что величина дополнительного непогашенного ускорения из-за несовпадения точек начала и конца переходных кривых не превышает $0,1 \text{ м/с}^2$ и соответствия длины прямой вставки между сопряженными кривыми проекту. Сопряженными считаются кривые при длине прямой вставки между кривыми 25 м и менее.

³ По данным замеров мобильных или съемных путеизмерительных средств.

4.4 Анализ изменения возвышения и интенсивности износа на участках ремонта 2022 года

На Южно-Уральской, Северной, Октябрьской и Красноярской дирекциях инфраструктуры проведен анализ изменения величины возвышения в кривых до и после ремонта пути на участках капитального ремонта железнодорожного пути 2022 года.

Таблица 4.5 – Изменение величины возвышения (мм) в кривых Южно-Уральской ж.д. до и после ремонта

Радиус, м	Возвышение, мм					
	средние значения		% снижения	максимальные значения		% снижения
	до	после		до	после	
450-650	75,25	47,5	58	109,4	68,25	60
650-1000	59,3	40	48	60,5	60,4	0,1
более 1000	26,5	7,5	72	30,25	26,25	15

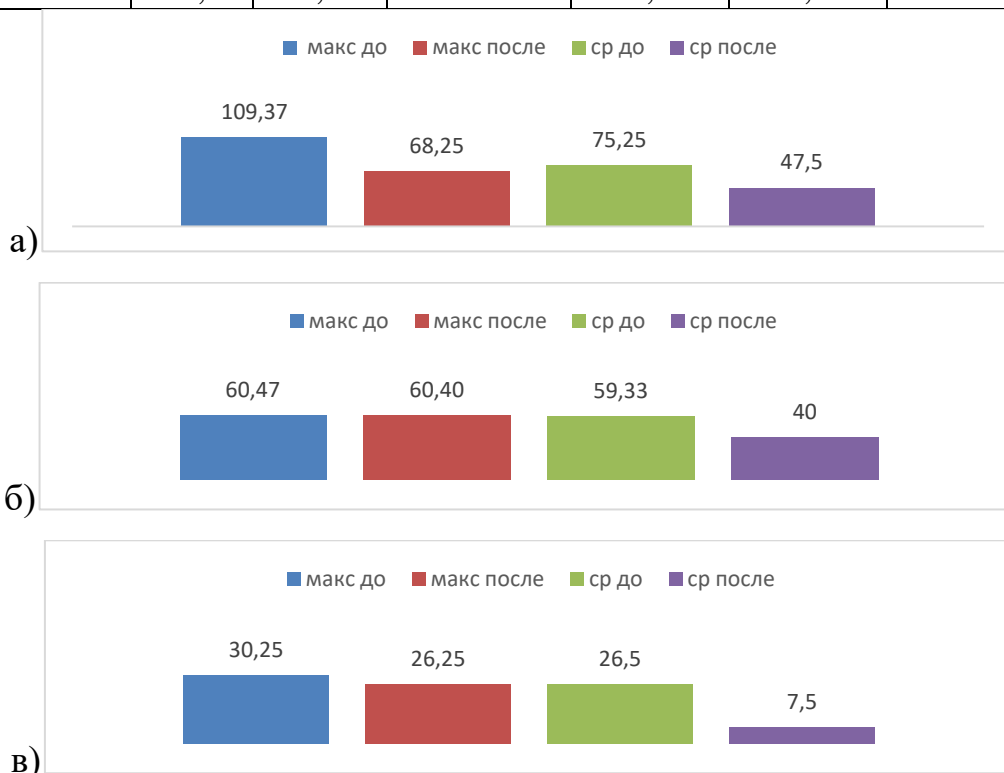


Рисунок 4.5 – Изменение величины возвышения (мм) в кривых Южно-Уральской ж.д. до и после ремонта в диапазонах радиуса:

- а) 450-650 м
б) 650-1000 м

в) более 1000 м

Таблица 4.6 – Изменение величины интенсивности бокового износа рельсов (мм/млн т) в кривых Южно-Уральской ж.д. до и после ремонта

Радиус, м	Интенсивность бокового износа, мм/млн т					% снижения
	средние значения		% снижения	максимальные значения		
	до	после		до	после	
450-650	0,0634	0,0569	11	0,0884	0,0819	8
650-1000	0,0449	0,0251	77	0,0449	0,043	4,5
более 1000	0,0232	0,001	96 (в 23 раза)	0,0732	0,001	99 (в 73 раза)



Рисунок 4.6 – Изменение величины интенсивности бокового износа (мм/млн. т) в кривых Южно-Уральской ж.д. до и после ремонта в диапазонах радиуса:

а) 450-650 м

б) 650-1000 м

в) более 1000 м

Таблица 4.7 - Изменение величины возвышения (мм) в кривых
Северной ж.д. до и после ремонта

Радиус, м	Возвышение, мм					
	средние значения		% снижения	максимальные значения		% снижения
	до	после		до	после	
450-650	114	95,5	19	140	105	33
650-1000	88,75	67,5	31	136,6	96,15	42
более 1000	78,3	55	43	137,7	101,8	34

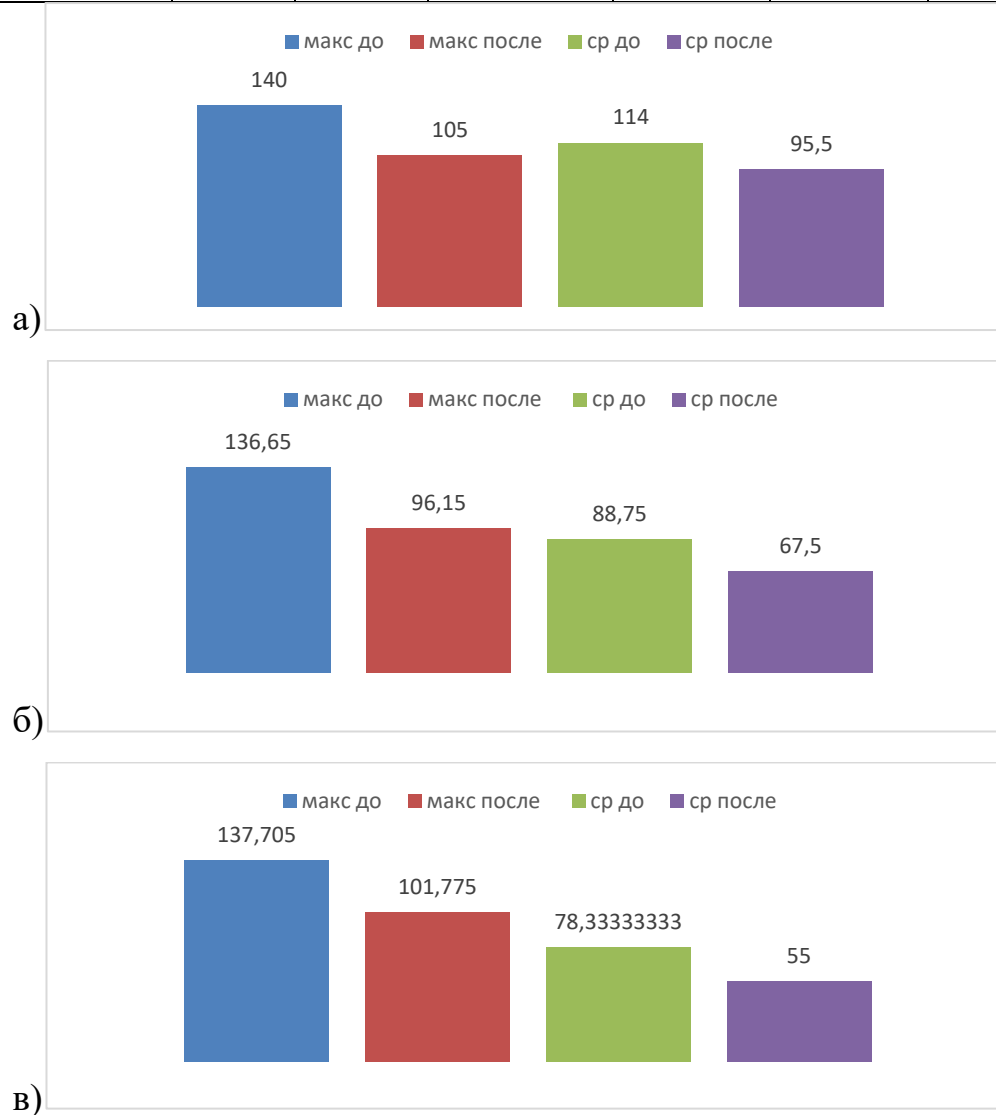


Рисунок 4.7 – Изменение величины возвышения (мм) в кривых Северной ж.д.
до и после ремонта в диапазонах радиуса:

а) 450-650 м

б) 650-1000 м

в) более 1000 м

Таблица 4.8 - Изменение величины интенсивности бокового износа рельсов
(мм/млн т) в кривых Северной ж.д. до и после ремонта

Радиус, м	Интенсивность бокового износа, мм/млн т					
	средние значения		% снижения	максимальные значения		% снижения
	до	после		до	после	
450-650	0,1291	0,061	95	0,27	0,19	42
650-1000	0,073	0,0152	79	0,223	0,09	60
более 1000	0,213	0,16	33	1,213	1,01	20

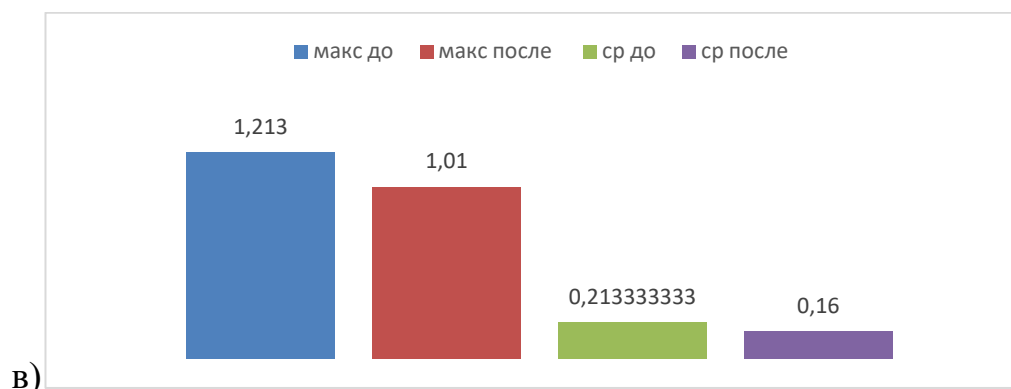
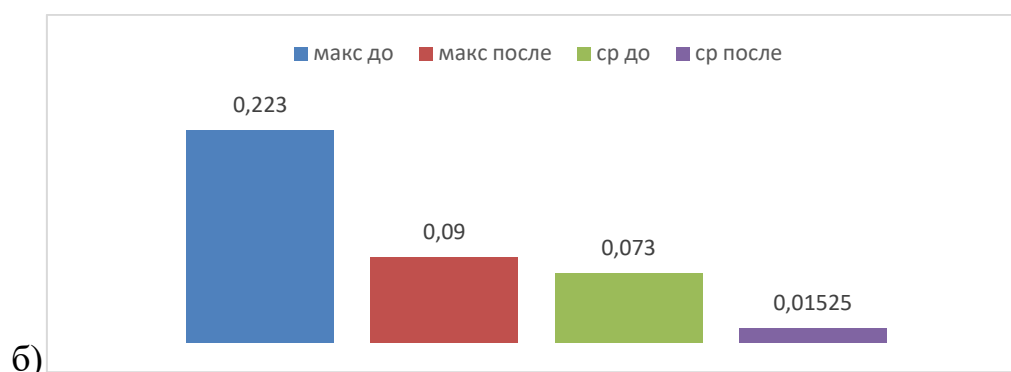
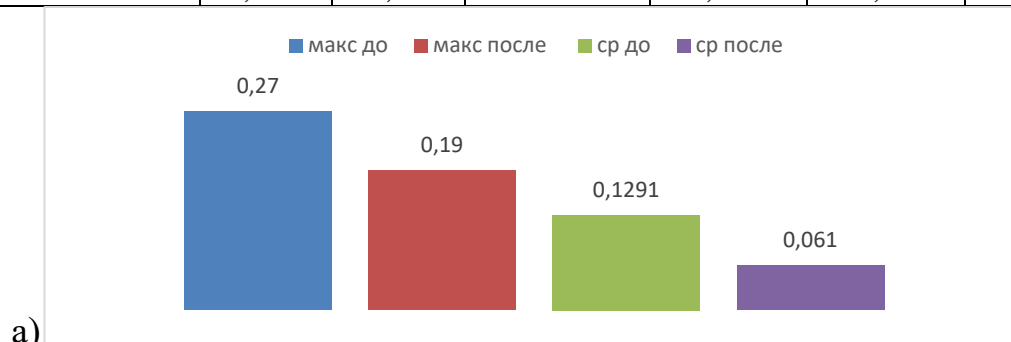


Рисунок 4.8 – Изменение величины интенсивности бокового износа
(мм/млн т) в кривых Северной ж.д. до и после ремонта в диапазонах радиуса:

а) 450-650 м

б) 650-1000 м

в) более 1000 м

Таблица 4.9 – Изменение величины возвышения (мм) в кривых
Октябрьской ж.д. до и после ремонта

Радиус, м	Возвышение, мм					
	средние значения		% снижения	максимальные значения		% снижения
	до	после		до	после	
650-1000	82	45	84	90	45	50
более 1000	71,5	40	78	85	40	53

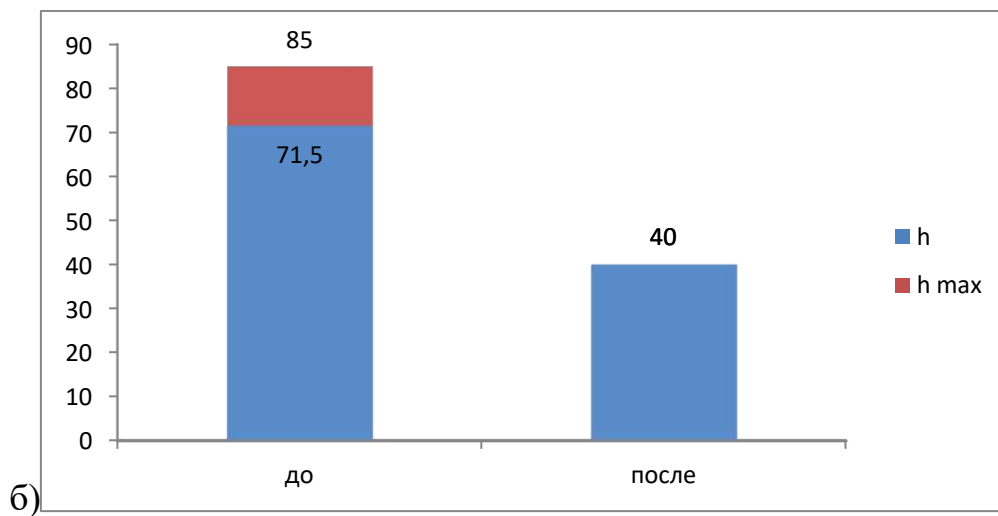
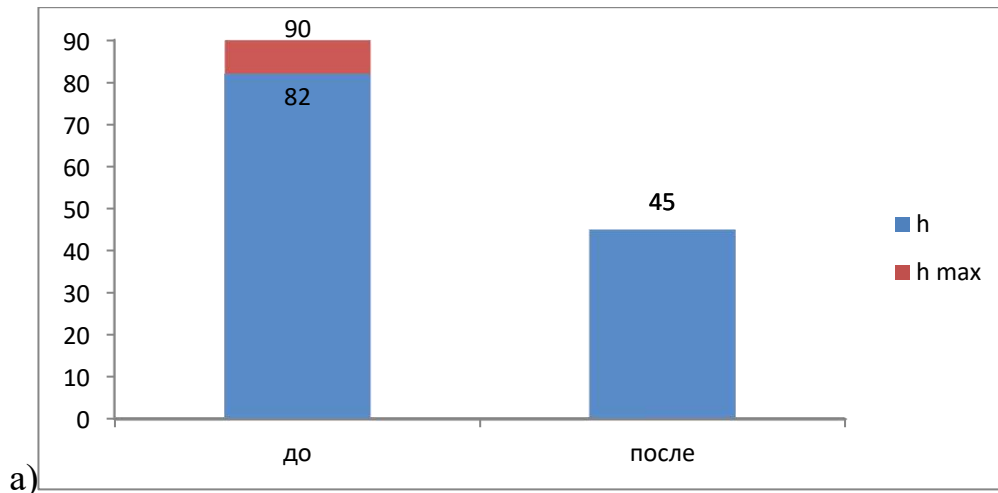


Рисунок 4.9 – Изменение величины возвышения (мм) в кривых
Октябрьской ж.д. до и после ремонта в диапазонах радиуса:

а) 650-1000 м

б) более 1000 м

Таблица 4.10 – Изменение величины интенсивности бокового износа рельсов (мм/млн т) в кривых Октябрьской ж.д. до и после ремонта

Радиус, м	Интенсивность бокового износа, мм/млн т					
	средние значения		% снижения	максимальные значения		% снижения
	до	после		до	после	
650-1000	0,011	0,01	10	0,014	0,0128	9
более 1000	0,008	0,006	33	0,009	0,006	33

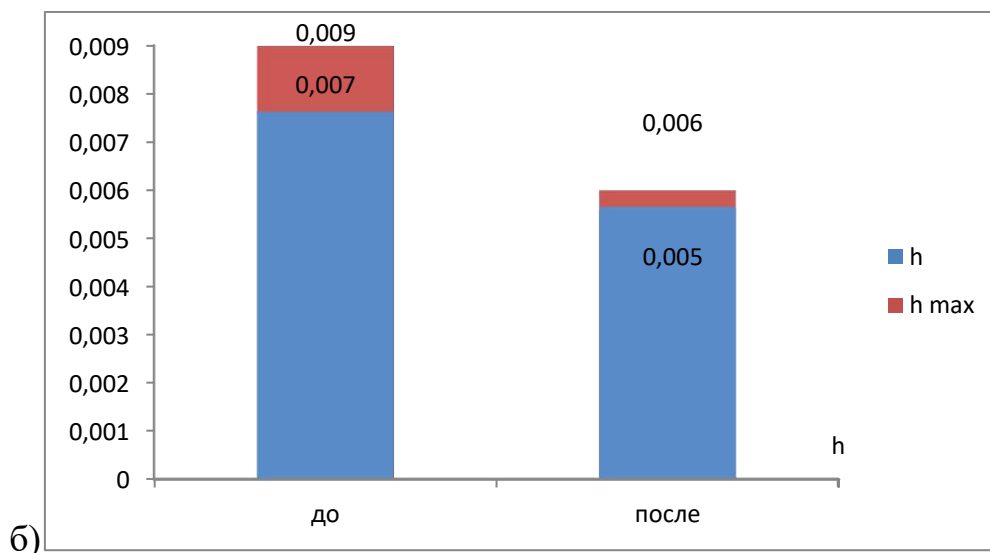
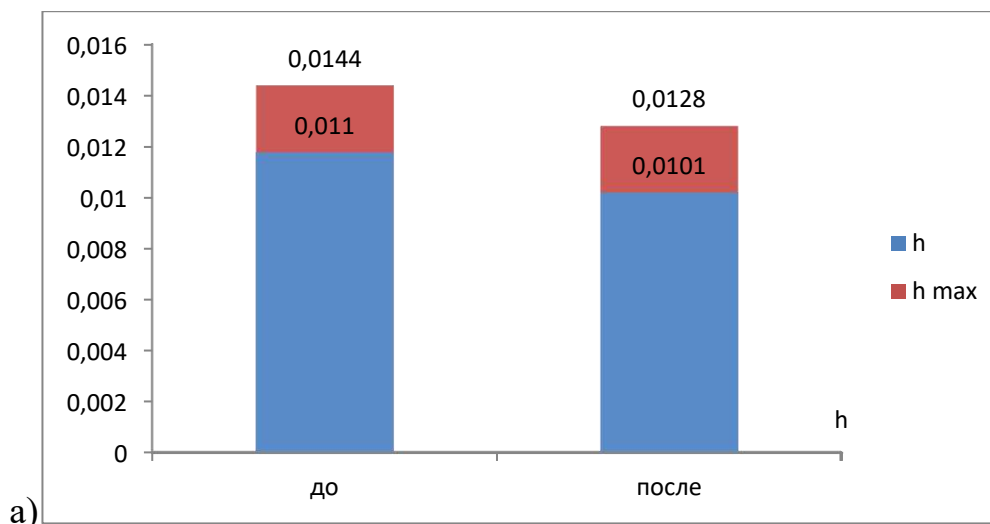


Рисунок 4.10 – Изменение величины интенсивности бокового износа (мм/млн т) в кривых Октябрьской ж.д. до и после ремонта в диапазонах

радиуса:

а) 650-1000 м

б) более 1000 м

Таблица 4.11 – Изменение величины интенсивности бокового износа (мм/млн. т) в кривых Красноярской ж.д. до и после ремонта

Радиус, м	Интенсивность бокового износа, мм/млн т					
	средние значения		% снижения	максимальные значения		% снижения
	до	после		до	после	
450-650	0,053	0,024	55	0,07	0,04	43
650-1000	0,048	0,0183	62	0,06	0,02	67
более 1000	0,04	0,012	70	0,05	0,013	74

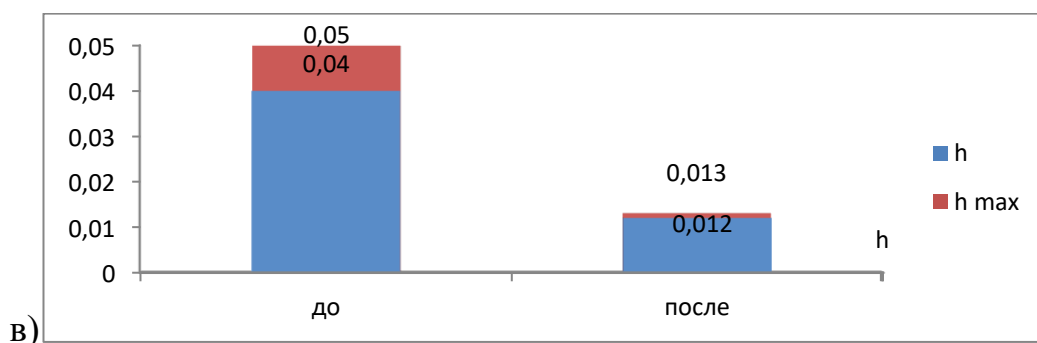
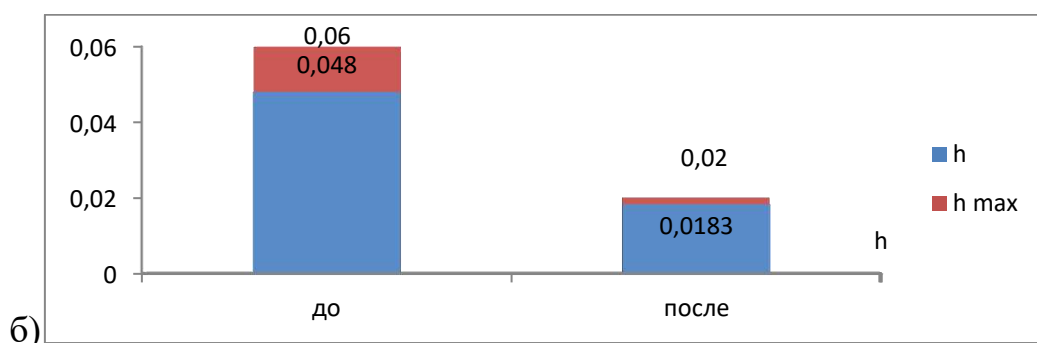
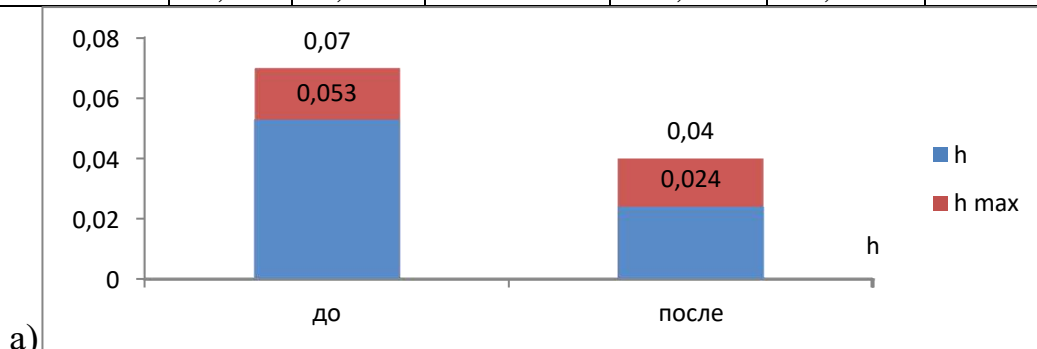


Рисунок 4.11 – Изменение величины интенсивности бокового износа (мм/млн. т) в кривых Красноярской ж.д. до и после ремонта в диапазонах радиуса:

а) 450-650 м

б) 650-1000 м

в) более 1000 м

Эффективность полученных результатов исследовательской работы подтверждается фактическим снижением интенсивности бокового износа в кривых с переустроенным возвышением наружного рельса по средним значениям на 52%, по максимальным – на 36%. Анализ и расчет интенсивности бокового износа с учетом переустройства возвышения в соответствии с новыми нормативными документами выполнен в кривых до и после ремонта на участках капитального ремонта железнодорожного пути 2022 года на Южно-Уральской, Северной, Октябрьской и Красноярской дирекциях инфраструктуры. Изменение величины возвышения и интенсивности бокового износа рельсов в кривых до и после их переустройства приведены в таблицах 4.12 – 4.13.

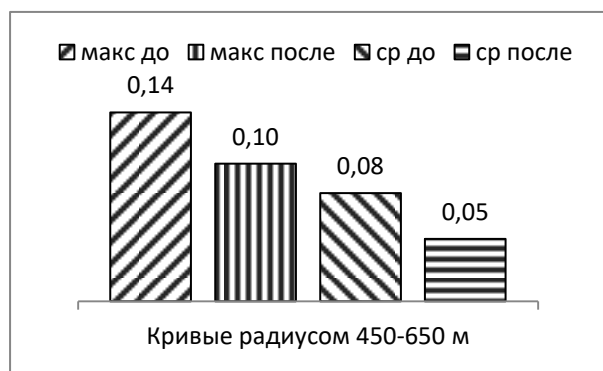
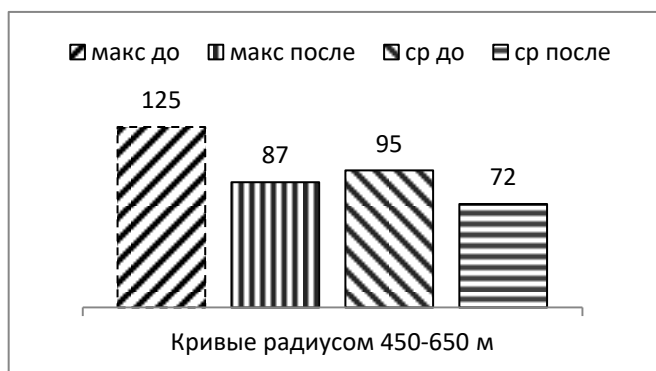
Таблица 4.12 – Изменение величины возвышения (мм) в кривых

Радиус, м	Возвышение, мм					% снижения
	средние значения		% снижения	максимальные значения		
	до	после		до	после	
450-650	95	72	38,50	125	87	46,50
650-1000	77	51	54,33	69	67	30,70
более 1000	59	34	64,33	84	56	34,00

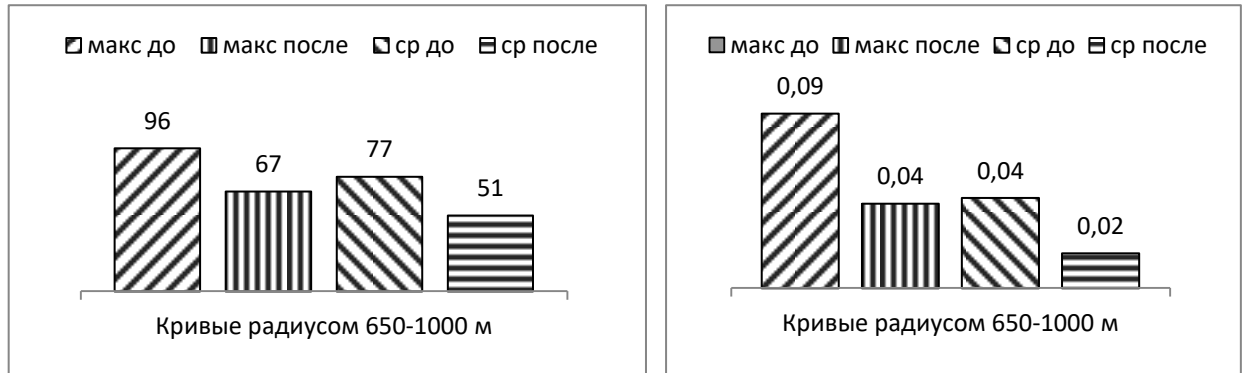
Таблица 4.13 – Изменение величины интенсивности бокового износа рельсов (мм/млн т) в кривых

Радиус, м	Интенсивность бокового износа, мм/млн. т брутто					% снижения
	средние значения		% снижения	максимальные значения		
	до	после		до	после	
450-650	0,08	0,05	53,67	0,14	0,10	31,00
650-1000	0,04	0,02	57,00	0,09	0,04	35,13
более 1000	0,07	0,04	58,00	0,34	0,26	56,50

а)



б)



в)

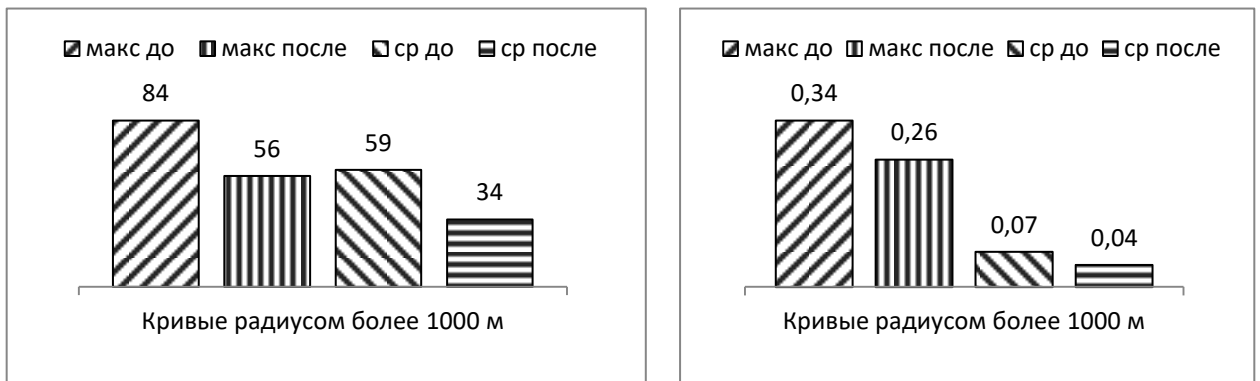


Рисунок 12 – Изменение величины возвышения (мм) и интенсивности бокового износа в кривых до и после ремонта в диапазонах радиуса:

а) 450-650 м б) 650-1000 м в) более 1000 м

4.5 Расчет экономической эффективности предложенных технических и технологических решений

Используя данные по интенсивности износа полученные до и после переустройства кривых участков пути (таблица 4.13) рассчитан эффект на 100 км пути при грузонапряженности 80 млн. т брутто для группы кривых с диапазоном радиуса 450 – 650 метров.

Боковой износ рельсов при котором выдается ограничение скорости и замена производится в первоочередном порядке составляет 15 мм.

Наработка тоннажа до замены рельсов составит:

До переустройства кривых:

$$15 / 0,08 = 187,5 \text{ млн. т брутто}$$

После переустройства кривых:

$$15 / 0,05 = 300 \text{ млн. т брутто}$$

Периодичность (в годах) замены рельсов при грузонапряженности 80 млн. т брутто составит:

$$\text{До переустройства кривых: } 187,5 / 80 = 2,3 \text{ года}$$

$$\text{После переустройства кривых: } 300 / 80 = 3,75 \text{ года}$$

Общая потребность рельсов для замены по боковому износу на 100 км пути составит:

$$\text{До переустройства кривых: } 100 / 2,3 = 43,4 \text{ км}$$

$$\text{После переустройства кривых: } 100 / 3,75 = 26,6 \text{ км}$$

Учитывая, что стоимость 1 тонны рельсов составляет 60 300 рублей, получаем:

$$1 \text{ км пути} = 130 \text{ тонн} = 7\,839\,000 \text{ рублей}$$

Эффект на 100 км пути от смены рельсов по боковому износу после переустройства кривых участков пути (в диапазон радиусов 450 – 650 метров) по новым нормативам составит:

$$43,4 * 7\,839\,000 - 26,6 * 7\,839\,000 = 131\,695\,200 \text{ рублей.}$$

Таким образом расчетный экономический эффект от внедрения предложенных решений составляет 131,7 млн. рублей на 100 км пути за счет снижения интенсивности бокового износа рельсов.

4.6 Выводы по главе

Были получены следующие основные результаты:

1. Сформирована двухуровневая система скоростей — порядок, при котором устанавливаются допустимые и допускаемые скорости движения.
2. Возвышение наружного рельса в кривых устанавливается по допустимым скоростям движения, а допускаемые скорости рассматриваются как вариант допустимых при отсутствии ограничений по тяге и состоянию

пути. В новом руководстве по определению возвышения наружного рельса в кривых, утвержденном Распоряжением ОАО «РЖД» от 20.12.2021 2897/р, узаконен отдельный порядок установления возвышения на линиях преимущественно грузового и пассажирского движения.

3. В рамках исследовательской работы разработана Инструкция, определяющая единый порядок устройства и содержания кривых участков пути на стадиях проектирования и эксплуатации с целью минимизации расстройств и износов верхнего строения пути, которая утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 24.01.2022 № 131/р, задача которой — остановить процесс превращения однорядных кривых в многорядные, как на стадиях проектирования, так и при эксплуатации.

4. Разработана система оценки параметров устройства кривой по отклонениям от проектного положения, включающая в себя отклонения фактического радиуса кривой от проектного (%), отклонения фактического возвышения в кривых от проектного (мм), соответствие параметров кривой проектной скорости, несовпадение точек начала и конца переходных кривых по возвышению и кривизне (м) – Правила ремонта железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. (таблица 11.6).

5. Разработанные нормативные документы регламентируют оценку параметров устройства и содержания пути по отклонениям от проектного положения точек кривой и организацию текущего содержания кривых в части соблюдения проектных параметров и нормирование параметров устройства кривых при разработке проектов реконструкции линий и всех видов ремонтов.

6. Эффективность полученных результатов исследовательской работы подтверждается фактическим снижением интенсивности бокового износа в кривых с переустроенным возвышением наружного рельса по средним значениям на 52%, по максимальным – на 36%. Анализ и расчет интенсивности бокового износа с учетом переустройства возвышения в

соответствии с новыми нормативными документами выполнен в кривых до и поле ремонта на участках капитального ремонта железнодорожного пути 2022 года на Южно-Уральской, Северной, Октябрьской и Красноярской дирекциях инфраструктуры.

7. Расчетный экономический эффект от внедрения предложенных решений на 100 км пути от смены рельсов по боковому износу после переустройства кривых участков пути (в диапазон радиусов 450 – 650 метров) по новым нормативам составляет 131,7 млн. рублей.

Полученные результаты применены в нормативной и технической документации, используемой в ОАО «РЖД».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования получены следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Раскрыты закономерности изменения интенсивности износа рельсов и появления расстройств пути на основании систематизированных результатов мониторинга параметров устройства кривых участках пути.

2. Установлено влияние параметров устройства кривых участков пути на накопление расстройств пути, включая износы рельсов на основании результатов эксплуатационных наблюдений и расчетов.

3. Получены основные принципы влияния на развитие и интенсивность износа рельсов положения пути в плане, в том числе в условиях тяжеловесного и скоростного движения.

4. Определено влияние параметров отклонений фактического положения пути в плане от проектного положения кривой на величины боковых и рамных сил передаваемых от подвижного состава на путь на участках тяжеловесного движения, а также влияние многорадиусности кривых на неравномерность силового воздействия подвижного состава на путь.

5. Установлено на основании результатов теоретических, экспериментальных исследований и эксплуатационных наблюдений, что параметры устройства кривого участка пути и скорости движения подвижного состава влияют на интенсивность износа и дефектность рельсов.

6. Разработана научно-обоснованная система оценки параметров устройства кривой по отклонениям от проектного положения (Правила ремонта железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г., раздел 11, таблица 11.6).

7. Разработаны методические подходы к установлению двухуровневой системы определения разрешенных скоростей движения поездов,

включающая в себя допускаемые и допустимые скорости движения поездов. Установлены параметры устройства и содержания кривых участков пути на основе допустимых скоростей движения.

8. Разработана нормативная документация, позволяющая минимизировать расстройство пути в кривых и износ элементов верхнего строения пути в кривых в современных условиях эксплуатации: руководство по определению возвышения наружного рельса в кривых на основе двухуровневой системы скоростей, Порядок установления двухуровневой системы определения разрешенных скоростей движения, Порядок определения допустимых скоростей движения поездов, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 20 декабря 2021 г. № 2897/р и Инструкция, определяющая единый порядок устройства и содержания кривых участков пути на стадиях проектирования и эксплуатации с целью минимизации расстройств и износов верхнего строения пути, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 24 января 2022 г. № 131/р. Расчетный экономический эффект от внедрения предложенных решений составляет на 100 км пути 131,7 млн. рублей за счет снижения интенсивности бокового износа рельсов.

9. Рекомендуются применение разработанных нормативов на сети железных дорог ОАО «РЖД» при проектировании новых и всех видах ремонтов существующих железнодорожных линий.

10. Перспективой дальнейшей разработки темы исследования является разработка методических подходов определения возвышения на участках, где вследствие высокой плотности поездопотока составы постоянно следуют с замедлением на желтый сигнал светофора (например, перед крупными станциями).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Козийчук, П. Г.** Расчет кривых железнодорожного пути графоаналитическим методом / П. Г. Козийчук // Сборник научных трудов ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1940. – № 2. – 87 с.

2 **Туровский, И. Я.** Расчет выправки железнодорожных кривых / И. Я. Туровский // М.: Транспорт, 1972. 159-162, 213, 244 с.

3 **Дурнов, П. С.** Организация ремонта и содержания пути / П. С. Дурнов // учебник. – М.: Трансжелдориздат, 1945. Том 1. 8-12 с.

4 СТН Ц-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. Введ. 1 января 1996 г. Отм. 14 декабря 2015 г. М.: МПС России, 1995.

5 Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту и железнодорожного пути. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 18 января 2013 г. № 75р (в ред. от 17 июля 2017 г. № 1376/р). Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

6 О внесении изменений и дополнений в технические условия на работы по реконструкции (модернизации) по ремонту железнодорожного пути и паспорт параметров железнодорожного пути и показателей его функционирования. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 19 января 2018 г. № 101р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

7 О внесении изменений в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286: приказ Минтранса России от 9 февраля 2018 г. № 54. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

8 Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. ЦП:

утв. 27 июня 1959 г. / МПС СССР. М.: Трансжелдориздат, 1959. 188 с.

9 Инструктивные указания по устройству и содержанию пути на железнодорожных линиях со скоростным движением пассажирских поездов. ЦП-202: утв. 4 июля 1964. М.: Транспорт, 1964. 32 с.

10 Технические указания по расшифровке записей и оценке состояния пути по показаниям путеизмерительных вагонов: утв. 30 апреля 1975 г. М.: Транспорт, 1975. 29 с.

11 Технические указания по расшифровке записей путеизмерительных вагонов, оценка отступлений от норм содержания рельсовой колеи железнодорожного пути, мерам по обеспечения безопасности движения поездов при их обращении: утв. МПС СССР 02.11.1981. М.: Транспорт, 1982. 23 с.

12 Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов: утв. МПС РФ от 14 октября 1997 г. № ЦП-515; изм. 21 января 2008 г. М.: УралЮрИздат, 2010.

13 Путь и путевое хозяйство железных дорог США: справочник / пер. с англ. В. В. Космина. М.: Транспорт, 1987. 208-209 с.

14 Нормы и допуски устройства и содержания пути на зарубежных железных дорогах / О. П. Ершков, М. Г. Зак, В. Я. Карцев, В. Н. Петрова. М.: Транспорт, 1978. 41 с.

15 Инструкция по содержанию пути. DS 820 – 01.1999 г.

16 Инструкция по содержанию пути. DBIS – 02.2006 г.

17 Технические Правила и нормы эксплуатации железных дорог (РАМО) – Правила и нормативы железных дорог Финляндии колеи 1524 мм.

18 **Певзнер, В. О.** Основные разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения / В.О. Певзнер, Ю.С. Ромен. // Труды ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интертекст, 2013. 224 с.

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

20 О внесении изменений в некоторые документы ОАО «РЖД» по вопросу оценки состояния рельсовой колеи: Распоряжение ОАО «РЖД» от 1 апреля 2021 г. № 674/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

21 Railway applications – Track – Track alignment design parameters – Track gauges 1435 mm and wider; German version EN 13803. – 2017. – С. 103.

22 **Ососов, А. В.** Постановка кривых в расчетное положение. Паспортизация кривых / А. В. Ососов // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 10-12.

23 **Альхимович, А. А.** Нормативная база для организации скоростного и высокоскоростного движения. Постановка кривых в расчетное положение. Паспортизация кривых // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 35-38.

24 Положение о порядке контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 7 апреля 2017 г. № 678р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

25 СП 119.13330.2017. Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95 (с Изменением № 1). 59 с.

26 Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288р (в ред. от 1 октября 2018 г. № 2159/р). Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

27 Общие требования по паспортизации кривых участков главных путей ОАО «РЖД». Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 9 января 2008 г. № 7р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

28 **Певзнер, В. О.,** Результаты наблюдений по оценке влияния эксплуатационных факторов на боковой износ рельсов / В. О. Певзнер, О. Ю. Белоцветова, А. В. Потапов // Вестник научно-исследовательского

института железнодорожного транспорта ВНИИЖТ. – 2016. № 75 (4). – С. 242-247.

29 **Певзнер, В. О.** Оптимизация параметров устройства кривых и установление величины непогашенного ускорения на ВСМ / В. О. Певзнер, В. Я. Карцев, В. В. Третьяков, И. В. Третьяков, К. В. Шапетько, И. Б. Петропавловская, Т. И. Громова, И. С. Смелянская // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2018. – Т. 12. – № 12. – С. 44-47.

30 Pevzner, V. Control of energy aspects of track and rolling stock interaction / V. Pevzner, U. Romen, K. Shapetko // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences. – 2018. – Т. 239. – С. 01044.

31 Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта: Приложение № 1 к Приказу МПС от 12.11.2001 № 41/ц (в ред. от 12.08.2003 № 62). Введ. 01.01.2002. Отм. 14.03.2019. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

32 **Каплин, В. Н.** Совершенствование конструкции пути с целью снижения интенсивности его расстройств / В.Н. Каплин, К.В. Шапетько, М.Н. Мыслевец. – РСП Эксперт. – 2019. – № 3. – С. 16-18.

33 Учебник / Попович М.В., Бугаенко В.М., Волковойнов Б.Г. Путевые машины. – М.: ГОУ Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2009. 820 с.

34 **Корженевич, И. П.** Программа расчетов выправки плана железнодорожного пути в путевом хозяйстве «RWPLan». – 2006. – С. 84.

35 Freimann, E. Beurteilung von Krümmungsfehlern in Gleisbögen Eisenbahningenieur. – 1985. – Bd. 36, № 9. – S. 419-421.

36 Rail-Requirement Analysis Report.: IFC Rail Project. – 2019. – С. 63.

37 **Ершков, О. П.** Расчет рельса на действие боковых сил в кривых / О.П. Ершков // Труды ЦНИИ. – 1960. – № 192.

38 **Певзнер, В. О.** Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения / В.О. Певзнер, Ю.С. Ромен // Научные труды ОАО «ВНИИЖТ». – М.: Интекст, 2013.

39 **Ваганова, О. Н.** Возвышение наружного рельса в кривых – нужен новый подход / О.Н. Ваганова // Сборник научных статей аспирантов РУТ (МИИТ) Аспирантские чтения. – 2021. – № 4. – С. 25-31.

40 **Певзнер, В. О.** Подуклонка рельсов и её связь с безопасностью движения и боковым износом / В.О. Певзнер, О.Ю. Белоцветова, А.В. Потапов // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 2. – С. 30-33.

41 **Сидорова, Е. А.** Методы определения положения кривой в плане и влияние геометрии пути на показатели взаимодействия пути и подвижного состава / Е.А. Сидорова, О.Н. Ваганова, А.Ю. Слостенин // Вестник ВНИИЖТ. – 2020. – № 6. – С. 365-372.

42 **Старовойтов, М. М.** Ключевые ориентиры развития путевого комплекса / М. М. Старовойтов, О. Н. Ваганова // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 12. – С. 2-5.

43 **Певзнер, В. О.** Определение возвышения наружного рельса в кривых по допустимым скоростям / В. О. Певзнер, О. Н. Ваганова, Е. А. Сидорова // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 12. – С. 26-28.

44 Правила назначения ремонтов железнодорожного пути: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 17.12.2021 № 2888/р.

45 **Певзнер, В. О.** Необходимость совершенствования оценки положения пути в плане / В. О. Певзнер, О. Н. Ваганова // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 7. – С. 4-8.

46 **Ваганова, О. Н.** Актуализация нормативной и технической документации в Управлении пути и сооружений / О. Н. Ваганова // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 11. – С. 2-4.

47 **Васильева, С. А.** Новые локомотивы – новые проблемы содержания пути / С. А. Васильева, А. И. Борц, О. Н. Ваганова // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 6. – С. 9-12.

48 **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.

49 ГОСТ 34530-2019. Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения. Введ. с 01.02.2020. Изм. 01.08.2021. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «Техэксперт».

50 Pevzner V., Shapetko K., Slastenin A. (2021) Needed Additions to the Diagnostic System of High-Speed Lines. In: Murgul V., Pukhkal V. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. EMMFT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1258. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5_43.

51 **Певзнер, В. О.** Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения / В. О. Певзнер, Ю. С. Ромен // Научные труды ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2013. 224 с.

52 **Чибизова, Н. Г.** Воздействие грузовых полувагонов на путь в кривой с отступлениями в плане / Н. Г. Чибизова // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). – № 8. – 1966. – С. 32-37.

53 **Певзнер, В. О.** Опыт повышения осевых нагрузок / В. О. Певзнер [и др] // Современнее проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: труды Международного научно-технической конференции. Чтения, посвященные памяти Г.М. Шахунянца. – 2018. – С. 158-163.

54 Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 8 ноября 2016 г. № 2240р (ред. от 06.04.2020). Текст:

электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

55 **Певзнер, В. О.** Научные основы системы управления состояния пути. – М.:РАС, 2018. 272 с.

56 **Агаркова, И. Н.** Комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта / И. Н. Агаркова, В. А. Бучкин, Е. А. Рыжик // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 6 (66). – С. 77-83.

57 **Певзнер, В. О.** Основные разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения / В.О. Певзнер, Ю.С. Ромен // М.: Интертекст. – 2013. – С. 224.

58 **Ваганова, О. Н.** Работа железнодорожного пути в кривых / О.Н. Ваганова // Труды конференции. Чтения, посвященные 115-летию профессора Г.М. Шахунянца. – 2021. – С. 89.

59 Общие требования по паспортизации кривых участков главных путей ОАО «РЖД». Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 9 января 2008 г. № 7р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

60 Положение по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути вагонами-путеизмерителями, расчету рациональных параметров устройства кривых для их паспортизации ЦПТ-46/2 от 19 марта 2009 г.

61 **Бучкин, В. А.** Единая пространственная модель плана железной дороги для проектирования, технического обслуживания и ремонта пути / В. А. Бучкин, Е. П. Ленченкова // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 9. – С. 24-27.

62 **Бурков, Д. Н.** Актуальные проблемы рельсового хозяйства / Д. Н. Бурков, О. Н. Ваганова // Путь и путевое хозяйство. – 2022. – № 8. – С. 2 – 7.

63 **Самратов, У. Д.** О точности определения геометрических

параметров железнодорожного пути с помощью АПК / У. Д. Самратов, Л. А. Сакович, Д. Г. Кривдин // Геопрофи. – 2007. – № 6. – С. 28-32.

64 Путь и путевое хозяйство железных дорог США: справочник / пер. с англ. В.В. Космина. М.: Транспорт, 1987. 208-209 с.

65 **Назаров, Д. Г.** Опыт применения мобильных навигационно-сканерных систем на объектах железнодорожного транспорта / Д.Г. Назаров // Автоматика на транспорте. – 2016. – № 4. – Т.2. – С. 530-539.

66 **Чечельницкий, А. И.** Анализ дефектности и изломов рельсов / А. И. Чечельницкий, О. Н. Ваганова // Сборник научных докладов по материалам 135-го заседания НП «Рельсовая комиссия». – 2020. – С. 66-75.

67 Приказ Минтранса России от 9 февраля 2018 года № 54 «О внесении изменений в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286». Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

68 Временная инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 8 июля 2019 г. № ЦДИ-586/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

69 **Каменский, В. Б.** Содержание железнодорожного пути в кривых / В. Б. Каменский, Э. Я. Шац. – М.: Транспорт, 1987. 187 с.

70 **Шапетько, К. В.** Исследования накопления деформаций железнодорожного пути на участке испытаний вагонов с осевой нагрузкой 27 тс / К. В. Шепетько // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2017. – Т. 76. – №. 4. – С. 238-242.

71 **Певзнер, В. О.** Необходимые дополнения к системе оценки геометрии рельсовой колеи., вопросы развития железнодорожного транспорта / В. О. Певзнер, В. В. Третьяков, И. В. Третьяков, А. С. Томиленко, К. В. Шапетько // Сборник трудов ученых АО «ВНИИЖТ»

/ под. ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричани. – М.:РАС, 2017. 199-202 с.

72 **Певзнер, В. О.** Актуальные проблемы работы пути в современных условиях, актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта / В. О. Певзнер, В. В. Третьяков, К. В. Шапетько // материалы Всероссийской научно-практической конференции к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. Часть 2 / под ред. А.Б. Косарева, Г.В. Гогричани. – М.: РАС, 2019. 231-238 с.

73 **Сластенин, А. Ю.** Совершенствование системы оценки положения пути в плане / А. Ю. Сластенин, О. Н. Ваганова // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 6. – С. 9-13.

74 Приказ Министерства путей сообщения СССР № 39/ЦЗ от 21 января 1950 г.

75 **Шахуняц, Г. М.** // Железнодорожный путь. – М.: Трансжелдориздат, 1961. 615 с.

76 **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 (Вестник ВНИИЖТ). – 2020. – № 79 (4). – С. 209-216.

77 **Езиашвили, М. Н.** К вопросу возвышения наружного рельса / М.Н. Езиашвили // Труды ТБИИЖТ. – 1952. – № 25.

78 **Божко, В. А.** Расчет возвышения наружного рельса в кривых с учетом силы тяги / В. А. Божко // Техничко-информационное письмо № 1, Днепрогипротранс Минтрансстроя, 1957.

79 **Мелентьев, Л. П.** О нормах возвышения наружного рельса в кривых участках пути / Л. П. Мелентьев, О. П. Ершков // Сборник трудов ЦНИИ «Расчеты железнодорожного пути в кривых и нормы его устройства».

– Трансжелдориздат. – 1960. – № 192.

80 Временное руководство по определению возвышения наружного рельса и допускаемых скоростей движения в кривых № ЦПТ-44/17 от 22 августа 2009 г.

81 **Бурков, Д. Н.** Актуальные проблемы рельсового хозяйства / Д. Н. Бурков, О. Н. Ваганова // Сборник трудов конференции «Перспективные направления развития рельсовой индустрии. Технологии производства и эксплуатации (материалы V международной научно-технической конференции ЕВРАЗ 25-26 мая 2022 г.): Сборник научных докладов. – Москва: ООО «ЕВРАЗ». – 2023. – С. 80-90.

82 **Певзнер, В. О.** Научные основы системы управления состоянием пути / В. О. Певзнер. – М.: РАС, 2018. 272 с.

83 Условия гарантии на железнодорожные рельсы и порядка рекламационно-претензионной работы по гарантийным случаям. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 23 мая 2016 г. № 952р (ред. от 27 мая 2019 г.). Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

84 <https://metaloplast.ru>.

85 **Ершков, О. П.** Расчет поперечных горизонтальных сил в кривых / О.П. Ершков // Москва: Издательство «Транспорт», 1966. – № 301.

86 **Ершков, О. П.** Применение графиков-паспортов для оценки воздействия локомотивов на путь в кривых / О.П. Ершков // Москва: Издательство «Транспорт», 1964.

87 **Вериго, М. Ф.** Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес / М.Ф. Вериго // Москва, 1997.

88 Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 28 февраля

2020 г. № 436/р (в ред. от 01.04.2021). Текст: электронный. Доступ из норм-правов. Базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ).

89 **Певзнер, В. О.** Новые документы по устройству и содержанию кривых участков пути / В. О. Певзнер, О. Н. Ваганова, Е. А. Сидорова // Путь и путевое хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 2-5).

90 **Певзнер, В. О.** Постановка кривых по заданным проектным стрелам / В. О. Певзнер, Ю. С. Ромен // Путь и путевое хозяйство. – 1971. – № 11. – С. 31.

ПРИЛОЖЕНИЕ

АКТ

**анализа состояния рельсов категории ДТ350, ДТ370ИК, ДТ400ИК на
Забайкальской и Восточно – Сибирской ДИ по итогам осмотра:
18.10.2021-24.10.2021 на участках ПЧ-2 (Хилокской дистанции пути), ПЧ-
3 (Могзонской дистанция пути), ПЧ-4 (Читинской дистанция пути), ПЧ-
11 (Ерофей Павловичской дистанции пути) Забайкальской ДИ;
25.10.2021 – 29.10.2021 на участках ПЧ – 9 (Слюдянской дистанции пути)
Восточно-Сибирской ДИ.**

г. Иркутск

29 октября 2021 г.

Во исполнение телеграфного указания №ИСХ – 19193 от 15.09.2021 и.о. ЦЗ – ЦДИ Е.А. Шевцова «О расследования причин образования дефектов и интенсивности их развития на рельсах ДТ350, ДТ370ИК и ДТ400ИК» представителями ООО «ЕВРАЗ», ЦДИ ЦП, ПКБ И, АО «ВНИИЖТ», РЖДПРОЕКТ, Иркутского РЦДМ, службы пути Забайкальской, Восточно-Сибирской ДИ (далее комиссия) произведен повторный комиссионный осмотр криволинейных участков пути с уложенными рельсами категории ДТ350, ДТ370ИК, ДТ400ИК на полигоне Забайкальской и Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры.

В процессе осмотра на подконтрольных участках пути комиссией проведены: замеры ширины рельсовой колеи, возвышения наружного рельса; замеры ширины головки и высоты рельса в контрольных сечениях; произведен визуальный осмотр и инструментальный промер величины повреждений поверхности катания на обоих нитях кривой. Также комиссией проанализировано соответствие фактических возвышений наружного рельса реализуемым скоростям, работа передвижных лубрикаторов и шлифовки рельсов.

**Восточно-Сибирская дирекция инфраструктуры
ПЧ-9 (Слюдянская дистанция пути)**

5225 км ПК 8 (730м) – 5226 км ПК 1 (80м), II путь перегон Большой Луг – Подкаменная. Левая кривая радиусом 298 м, длина кривой 347 м, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч, установленное возвышение по проекту 110 мм, фактическое возвышение наружного рельса 105мм. Профиль пути – подъем 6,8%. Средняя ширина колеи - 1533 мм. Минимальная скорость грузовых поездов по 5225 км составляет 35 км/ч, максимальная 58 км/ч (средняя 43,9 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя – 2,5 раза в сутки.

На момент осмотра по внутренней нити уложены рельсовые плети, сваренные методом чередования из рельсов категории ДТ400ИК и ДТ350 по 50 метров каждой категории. По наружной нити 14.07.2021 произведена смена плети, сваренной методом чередования на рельсовую плеть категории ДТ350. Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ350, составил на момент осмотра 4,9 мм (максимальный 5,94 мм). При пропущенном тоннаже 47,9 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,102 мм/млн. т брутто. Согласно комиссионному замеру от 08.06.2021 на рельсовой плети, сваренной методом чередования и изъятой из пути по достижению сверхнормативного износа, средний боковой износ на рельсах категории ДТ400ИК составил на момент осмотра 12,2 мм (максимальный 14,0 мм), на рельсах категории ДТ350 -14,1 мм (максимальный 17,3 мм). При пропущенном тоннаже 156 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила на рельсах категории ДТ400ИК – 0,078 мм/млн. т брутто, на рельсах категории ДТ350 – 0,090 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой на рельсах ДТ400ИК – 4,8 мм (максимальный 5,4 мм), на рельсах ДТ350 – 5,5 мм (максимальный 6,1 мм), соответственно интенсивность нарастания вертикального износа на ДТ400ИК составила 0,023 мм/млн. т брутто, на ДТ350 – 0,026 мм/млн. т брутто. Шлифовка проводилась 09.07.2021 (8 проходов) после пропуска 161,8 млн. т брутто. На момент осмотра при пропуске 50,2 млн. т брутто после шлифовки наблюдается выкрашивание поверхности катания внутренней нити круговой кривой на рельсах обеих категорий с глубиной выкрашивания 1,4 мм на рельсах категории ДТ400ИК и 1,1 мм на рельсах категории ДТ350. При визуальном контроле наличие смазочного материала на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует. Согласно ЦПТ №44/17 фактическое возвышение наружного рельса 105 мм соответствует реализуемым минимальным (35 км/ч) и максимальным (58 км/ч) скоростям, однако средняя реализуемая скорость грузовых поездов 44 км/ч. Ввиду нереализации установленной скорости (60 км/ч) целесообразно рассмотреть переустройство возвышения до 80 мм с установлением максимальной скорости движения 55 км/ч для грузовых поездов и 65 км/ч для пассажирских поездов.

5226 км ПК 2 (197 м) – 5226 км ПК 5 (447м), II путь перегон Большой Луг – Подкаменная. Правая кривая радиусом 310 м, длина кривой 255 м, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч, установленное возвышение по проекту 100 мм, фактическое возвышение наружного рельса 100 мм. Профиль пути – подъем 7,8%. Ширина колеи - 1533 мм. Минимальная скорость грузовых поездов по 5226 км составляет 44

км/ч, максимальная 58 км/ч (средняя 53 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя – 2,5 раза в сутки.

На момент осмотра по внутренней нити уложены рельсовые плети, сваренные методом чередования из рельсов категории ДТ400ИК и ДТ350 по 50 метров каждой категории. По наружной нити 14.07.2021 произведена смена плети, сваренной методом чередования, на плеть, сваренную из рельсов категории ДТ350. Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ350, составил на момент осмотра 5,2 мм (максимальный 5,6 мм). При пропущенном тоннаже 47,9 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,108 мм/млн. т брутто. Согласно комиссионному замеру от 08.06.2021 на рельсовой плети, сваренной методом чередования и изъятый из пути по достижению сверхнормативного износа, средний боковой износ на рельсах категории ДТ400ИК составил на момент осмотра 12,5 мм (максимальный 14,6 мм), на рельсах категории ДТ350 -14,2 мм (максимальный 16,9 мм). При пропущенном тоннаже 156 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила на рельсах категории ДТ400ИК – 0,079 мм/млн. т брутто, на рельсах категории ДТ350 – 0,090 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой на рельсах ДТ400ИК – 3,9 мм (максимальный 4,2 мм), на рельсах ДТ350 – 4,6 мм (максимальный 4,8 мм), соответственно интенсивность нарастания вертикального износа на ДТ400ИК составила 0,018 мм/млн. т брутто, на ДТ350 – 0,021 мм/млн. т брутто. Шлифовка проводилась 09.07.2021 (8 проходов) при пропуске 161,8 млн. т брутто. На момент осмотра при пропуске 50,2 млн. т брутто после шлифовки наблюдается выкрашивание по поверхности катания внутренней нити круговой кривой на рельсах обеих категорий с глубиной выкрашивания 1,5 мм на рельсах категории ДТ400ИК и 0,5 мм на рельсах категории ДТ350. При визуальном контроле наличие смазочного материала на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует.

5227 км ПК 6 (520 м) – 5228 км ПК 1 (80м), II путь перегон Большой Луг – Подкаменная. Правая кривая радиусом 301 м, длина кривой 560 м, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч, установленное возвышение по проекту 105 мм, фактическое возвышение наружного рельса 110мм. Профиль пути – подъем 5,3‰, спуск 3,1‰. Ширина колеи составляет 1536 - 1537 мм. Минимальная скорость грузовых поездов по 5227 - 5228 км составляет 51 км/ч, максимальная 59 км/ч (средняя 55,6 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя - 2,5 раза в сутки.

По внутренней (правой) нити кривой уложена плеть, сваренная методом чередования из рельсов категории ДТ400ИК и ДТ350 (пропущенный тоннаж по плети 212,9 млн. т брутто), по упорной нити -

ДТ370ИК (пропущенный тоннаж по плети 69,7 млн. т брутто). Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 7,4 мм (максимальный 8,6 мм). При пропущенном тоннаже 69,7 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,106 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой на рельсах ДТ400ИК – 5,9 мм (максимальный 7,5 мм), на рельсах ДТ350 – 6,5 мм (максимальный 7,4 мм), соответственно интенсивность нарастания вертикального износа на ДТ400ИК составила 0,027 мм/млн. т брутто, на ДТ350 – 0,031 мм/млн. т брутто. При пропущенном тоннаже 73 млн. т брутто произведена шлифовка. По результатам комиссионного осмотра в январе 2021 г. при пропущенном тоннаже 84,9 млн. т брутто повреждения рельсов в виде выкрашиваний и волнообразного износа не выявлены. При осмотре в мае 2021 г. при пропущенном тоннаже в 137 млн. т брутто по внутренней нити выявлены выкрашивания глубиной от 0,1 до 1,6 мм на длине от 1 до 8 метров и волнообразный износ с глубиной волны 0,2 – 0,6 мм длиной волны 50 до 150 мм на длине участка до 8 м на рельсах обеих категорий. Повторная шлифовка проведена 30.07.2021 при пропущенном тоннаже по внутренней нити 172,5 млн. т брутто. В ходе комиссионного осмотра в октябре 2021 г. выявлено выкрашивание поверхности катания глубиной 1,3 мм на рельсах категории ДТ400ИК и 1,5 мм на рельсах категории ДТ350 после очередной шлифовки и пропуска 40,4 млн. т брутто. Волнообразный износ не наблюдается. При визуальном контроле смазочный материал на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует.

5228 км ПК 2 (110 м) – 5228 км ПК 6 (529 м), II путь перегон Большой Луг – Подкаменная. Левая кривая радиусом 389 м длиной 419 м, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч, установленное возвышение по проекту 70 мм, фактическое возвышение наружного рельса 70 мм. Профиль пути: с 110 м по 239 м – спуск 3,1‰; с 239 м по 529 м – спуск 6,2‰. Ширина колеи - 1529 мм. Минимальная скорость грузовых поездов по 5228 км составляет 44 км/ч, максимальная – 57 км/ч (средняя 51,6 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя – 2,5 раза в сутки.

По внутренней (левой) нити кривой уложена плеть, сваренная методом чередования из рельсов категории ДТ400ИК и ДТ350 (пропущенный тоннаж по плети 212,9 млн. т брутто), по упорной нити – ДТ370ИК (пропущенный тоннаж по плети 68 млн. т брутто). Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 6,1 мм (максимальный 6,9 мм). При пропущенном тоннаже 68 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,089 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой

на рельсах ДТ400ИК – 4,1 мм, на рельсах ДТ350 – 4,8 мм, соответственно интенсивность нарастания вертикального износа на ДТ400ИК составила 0,019 мм/млн. т брутто, на ДТ350 – 0,023 мм/млн. т брутто. При пропущенном тоннаже 73 млн. т брутто произведена шлифовка. При пропущенном тоннаже 137 млн. т брутто по внутренней нити выявлены выкрашивания с максимальной глубиной от 0,6 до 1,5 мм на длине до 8 метров по рельсам ДТ350; выкрашивания с максимальной глубиной от 0,8 мм до 1,2 мм на длине до 8 м по рельсам ДТ400ИК. Кроме того, по внутренней нити обнаружены локальные участки с коротковолновым волнообразным износом при максимальной глубине неровностей до 0,3 мм и длине волны 150 мм на рельсах категории ДТ350. Повторная шлифовка проведена 30.07.2021 при пропущенном тоннаже по внутренней нити 172,5 млн. т брутто. При комиссионном осмотре в октябре 2021 г. выявлено выкрашивание поверхности катания глубиной 0,9 мм на рельсах категории ДТ400ИК и 0,8 мм на рельсах категории ДТ350 после очередной шлифовки и пропуска 40,4 млн. т брутто. Волнообразный износ не наблюдается. При визуальном контроле смазочный материал на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует.

5231 км ПК 9 (875 м) – 5232 км ПК 6 (574 м), II путь перегон Большой Луг – Подкаменная. Правая кривая радиусом 300 м длиной 599 м, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч, установленное возвышение по проекту 105 мм, фактическое возвышение наружного рельса 116 мм. Профиль пути – подъем 15,2‰. Ширина колеи - 1540 мм. Фактическая минимальная скорость грузовых поездов по 5231- 5232 км составляет 47 км/ч, максимальная – 57 км/ч (средняя 54,3 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя – 2,5 раза в сутки.

По внутренней (правой) нити кривой уложена плеть из рельсов категории ДТ370ИК (пропущенный тоннаж по плети 272 млн. т брутто), по упорной нити – ДТ350 (пропущенный тоннаж по плети 110,2 млн. т брутто). С момента укладки плети по внутренней нити проведены две шлифовки: первая 23.04.2020 и повторная 27.07.2021. При проведении осмотра в январе 2021 г. поверхности катания головки рельсов во внутренней нити при наработке тоннажа 150 млн. т брутто после шлифования выкрашиваний не наблюдалось. Практически по всей протяженности кривого участка установлено наличие волнообразного износа с глубиной неровностей от 0,15 до 0,45 мм и длиной от 50 до 90 мм. Максимальный вертикальный износ во внутренней нити на момент январского осмотра составил 4 мм. При осмотре внутренней нити при наработке тоннажа 206 млн. т брутто в мае 2021 г. наличие выкрашиваний на поверхности катания головки не обнаружено. Глубина волнообразных неровностей составила от 0,1 мм до 0,6 мм при

длине от 50 мм до 150 мм. Максимальный вертикальный износ 6,8 мм. В ходе комиссионного осмотра в октябре 2021 г. средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ350 составил 11,4 мм (максимальный 13,3 мм). При пропущенном тоннаже 110,2 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,103 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 7,1 мм (максимальный 7,7 мм). При пропущенном тоннаже 272 млн. т брутто интенсивность нарастания вертикального износа составила 0,026 мм/млн. т брутто. После шлифовки пропущенный тоннаж составил 41,8 млн. т брутто, при этом наблюдаются локальные выкрашивания по поверхности катания глубиной до 1 мм. При визуальном контроле смазочный материал на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует.

5290 км ПК 7 – 5291 км ПК 7, II пути перегона Ангасолка - Слюдянка Радиус кривой 348/346 м, длина кривой 1000 м, спуск 13,1‰, проектное возвышение наружного рельса 85 мм, фактическое возвышение 85 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч. Ширина колеи 1536 мм. Фактическая минимальная скорость грузовых поездов по 5290 - 5291 км составляет 41 км/ч, максимальная 59 км/ч (средняя 51,3 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя – 2,5 раза в сутки.

На рельсах категории ДТ370ИК в период комиссионного осмотра в мае 2021 г. по внутренней нити наблюдалось неравномерное выкрашивание, группами на протяжении 750 м, наиболее выраженные участки в тоннеле с максимальной глубиной 0,9 мм, за пределами тоннеля с максимальной глубиной 1,1 мм. По сравнению с комиссионным осмотром, проведенным в январе 2021 г., глубина выкрашиваний в пределах тоннеля уменьшилась, но развилось выкрашивание на участке у входа в тоннель. В июне 2021 года проведено две шлифовки 04.06.2021 и 11.06.2021 по 8 проходов. В ходе комиссионного осмотра в октябре 2021 г. после пропуска 63,7 млн. т брутто после последнего шлифования наблюдается выкрашивание по поверхности катания глубиной до 1 мм и с характерным периодическим повторением локальных участков по 7-8 м в пределах тоннеля и сплошного выкрашивания на подходах к нему. Также выявлены очаги с наиболее быстрым развитием выкрашивания в тоннеле, в местах с нарушением гидроизоляции свода тоннеля, где происходит постоянное заполнение водой трещин на поверхности катания рельсов. Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ350, составил на момент осмотра 7,5 мм (максимальный 10,5 мм). При пропущенном тоннаже 74,4 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,100 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по

внутренней нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 3,9 мм (максимальный 5,6 мм). При пропущенном тоннаже 208 млн. т брутто интенсивность нарастания вертикального износа составила 0,019 мм/млн. т брутто. При визуальном контроле смазочный материал на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует. На всем протяжении кривой наблюдается наличие металлической стружки.

5296 км ПК1 (86 м) – 5296 км ПК 3 (348 м), II путь перегона Слюдянка-2 – Ангасолка. Правая кривая, радиус кривой 302 м, длина кривой 262 м, спуск 16,8‰, проектное возвышение наружного рельса 100 мм, фактическое возвышение 108 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч. Ширина колеи 1535 мм. Фактическая минимальная скорость грузовых поездов по 5296 км составляет 38 км/ч, максимальная 60 км/ч (средняя 50,4 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя – 2,5 раза в сутки.

15.12.2020 на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования выкрашиваний на поверхности катания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19). На момент комиссионного осмотра 25.05.2021 при пропущенном тоннаже 150,3 млн. т брутто выкрашивание наблюдалось локально глубиной до 0,8 мм. В июне 2021 года выполнено три шлифовки 02.06.2021 - 6 проходов, 18.06.2021 - 8 проходов, 23.06.2021 - 8 проходов. После пропуска 58,1 млн. т брутто с момента последнего шлифования наблюдается выкрашивание по поверхности катания внутренней нити с глубиной до 1,3 мм. Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 6,6 мм (максимальный 7,2 мм). При пропущенном тоннаже 65,4 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,101 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 4,6 мм (максимальный 4,9 мм). При пропущенном тоннаже 201 млн. т брутто интенсивность нарастания вертикального износа составила 0,023 мм/млн. т брутто. При визуальном контроле смазочный материал на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует.

5296 км ПК 4 (500 м) – 5296 км ПК 6 (700 м), II путь перегона Ангасолка – Слюдянка-2. Левая кривая, радиус кривой 306 м, длина кривой 200 м, спуск 17,3‰, проектное возвышение наружного рельса 100 мм, фактическое возвышение 106 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч. Ширина колеи 1538 мм. Фактическая минимальная скорость грузовых поездов по 5296 км составляет 38 км/ч, максимальная 60 км/ч (средняя 50,4 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя – 2,5 раза в сутки.

15.12.2020 на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования выкрашиваний на поверхности катания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19). На момент комиссионного осмотра 25.05.2021 при пропущенном тоннаже 150,3 млн. т брутто выкрашивание наблюдается локально глубиной до 0,8 мм. При проведении осмотра в январе 2021 года максимальная глубина выкрашиваний составляла 1,2 мм. В июне 2021 года выполнены две шлифовки 02.06.2021 – 6 проходов, 18.06.2021 – 8 проходов. По результатам осмотра в октябре наблюдается выкрашивание по поверхности катания внутренней нити с глубиной выкрашивания до 1 мм после пропуска 60,4 млн. т брутто с момента второго шлифования. Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 6,9 мм (максимальный 7,5 мм). При пропущенном тоннаже 68 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,101 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 3,4 мм (максимальный 3,8 мм). При пропущенном тоннаже 219,4 млн. т брутто интенсивность нарастания вертикального износа составила 0,016 мм/млн. т брутто. При визуальном контроле смазочный материал на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует.

5296 км ПК 7 – 5297км ПК 1, II путь перегона Ангасолка – Слюдянка-2. Радиус кривой 300 м, длина кривой 595 м, спуск 12,2‰, проектное возвышение наружного рельса 105 мм, фактическое 110 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч. Ширина колеи 1538 мм. Фактическая минимальная скорость грузовых поездов по 5296 км составляет 38 км/ч, максимальная 60 км/ч (средняя 50,4 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя - 2,5 раза в сутки.

На рельсах категории ДТ370ИК по внутренней нити в мае 2021 г. наблюдалось равномерное выкрашивание на протяжении 500 м. В сравнении с предыдущим осмотром, проведенным в январе 2021 г., средняя величина глубины выкрашивания уменьшилась с 1,25 мм до 0,73 мм (при максимальных значениях для двух осмотров 1,6 мм и 1,2 мм соответственно). 02.06.2021 проведена шлифовка 6 проходов. На момент осмотра в октябре 2021 года после шлифования при пропущенном тоннаже 67,9 млн. т брутто выявлено равномерное выкрашивание глубиной до 1,5 мм. Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ350, составил 8,8 мм (максимальный 10,5 мм). При пропущенном тоннаже 86,5 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,102 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 6,5 мм (максимальный 7,9 мм). При

пропущенном тоннаже 201 млн. т брутто интенсивность нарастания вертикального износа составила 0,032 мм/млн. т брутто. При визуальном контроле смазочный материал на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует.

5297 км ПК8 – 5298 км ПК9, II путь перегона Ангасолка – Слюдянка-2. Левая кривая радиусом 317 м, длина кривой 1075 м, спуск 11,8%, проектное возвышение наружного рельса 105 мм, фактическое 110 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч. Ширина колеи 1537 мм. Фактическая минимальная скорость грузовых поездов по 5297 - 5298 км составляет 38 км/ч, максимальная 55 км/ч (средняя 49,4 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя – 2,5 раза в сутки.

Данный участок пути обследуется комиссией впервые. По обеим нитям кривой уложены рельсы категории ДТЗ70ИК. Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТЗ70ИК, составил 6,7 мм (максимальный 8 мм). При пропущенном тоннаже 54,9 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,122 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТЗ70ИК, составил 4,4 мм (максимальный 5,8 мм). При пропущенном тоннаже 220 млн. т брутто интенсивность нарастания вертикального износа составила 0,020 мм/млн. т брутто. Шлифовка на данной кривой не проводилась. При осмотре выявлены локальные выкрашивания по поверхности катания глубиной до 1 мм. При визуальном контроле смазочный материал на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует. Наблюдается наличие металлической стружки на всем протяжении кривой.

5303 км ПК 10 (958 м) – 5304 км ПК 3 (275 м), II путь перегона Ангасолка – Слюдянка-2. Правая кривая радиусом 406 м, длина кривого участка составляет 315 м, профиль – спуск 9,5%, проектное возвышение наружного рельса 65 мм, фактическое 55 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч. Ширина колеи 1529 мм. Фактическая минимальная скорость грузовых поездов по 5303 - 5304 км составляет 25 км/ч, максимальная 55 км/ч (средняя 40 км/ч). Количество проходов вагона рельсосмазывателя – 2,5 раза в сутки.

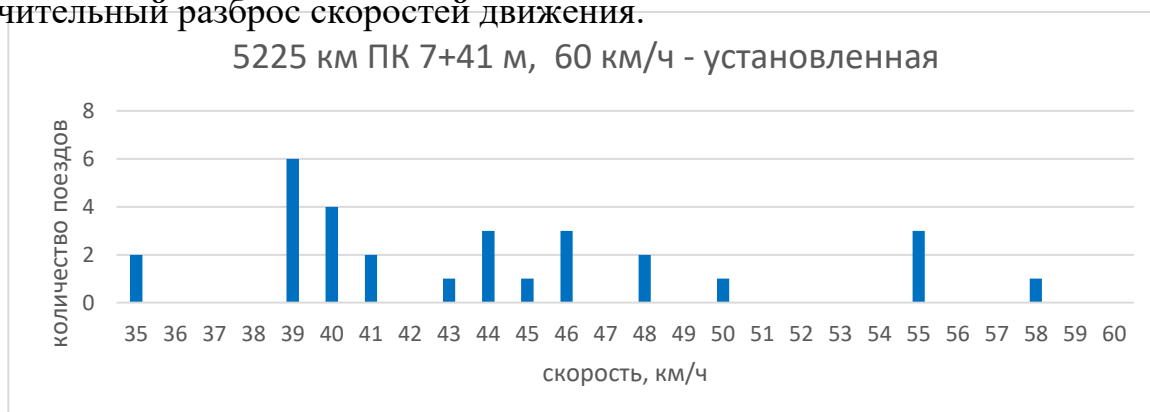
При наработке 92 млн. т брутто 12.12.2020 проведена шлифовка. На момент проведения осмотра в январе 2021 г. при наработке тоннажа 15 млн. т брутто после шлифования на поверхности катания головки рельсов по внутренней нити выявлено наличие выкрашиваний глубиной до 0,8 мм. При наработке 157,1 млн. т брутто 30.04.2021 проведена шлифовка. В период проведения осмотра в мае 2021 г. при наработке тоннажа 12 млн. т брутто

обнаружены выкрашивания на поверхности катания головки рельсов по внутренней нити глубиной до 1,0 мм. При комиссионном осмотре в октябре 2021 г. выявлено уменьшение глубины выкрашивания до 0,3 мм по внутренней нити кривой. Средний боковой износ по упорной нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 2,9 мм (максимальный 3,5 мм). При пропущенном тоннаже 27 млн. т брутто интенсивность нарастания бокового износа составила 0,107 мм/млн. т брутто. Средний вертикальный износ по внутренней нити круговой кривой на плети, сваренной из рельсов категории ДТ370ИК, составил 4,4 мм (максимальный 5 мм). При пропущенном тоннаже 201 млн. т брутто интенсивность нарастания вертикального износа составила 0,022 мм/млн. т брутто. При визуальном контроле смазочный материал на боковой поверхности рельса по упорной нити отсутствует.

Анализ скоростемерных лент по Восточно-Сибирской ДИ (во исполнение решений акта от 28.05.2021)

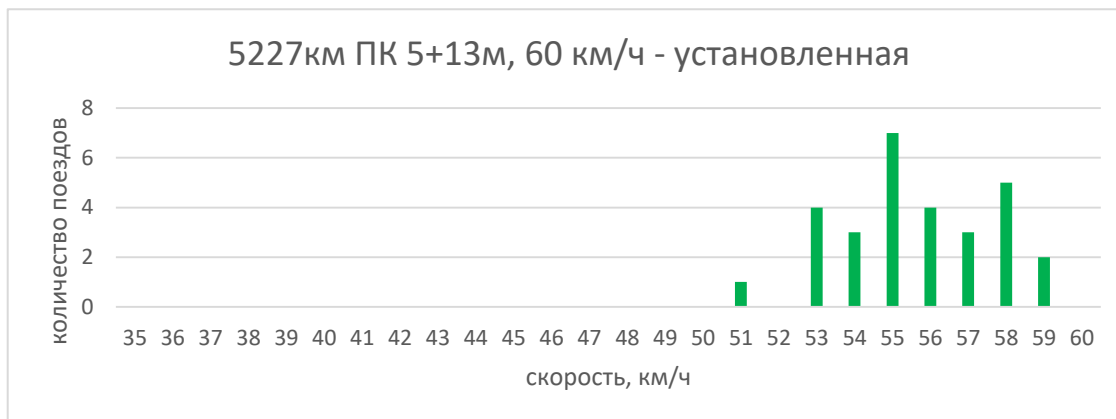
Проведен анализ скоростемерных лент с целью определения скоростей движения грузовых поездов статистическим способом. Были отобраны скоростемерные ленты за 22.08.2021 и 23.08.2021. Общая выборка включает 29 поездов. Вес поездов составил от 6161 т до 7106 т. Для каждой кривой определены минимальная, максимальная и средняя скорость движения. Выполнен расчёт возвышений наружного рельса в соответствии с «Временным руководством по определению возвышений наружного рельса и допускаемых скоростей движения в кривых», утвержденным 22.08.2009 г. №ЦПТ-44/17, а также расчёт возвышений из условия отсутствия поперечного непогашенного ускорения при средней скорости движения подвижного состава.

Анализ показал, что на значительном протяжении участка Большой Луг – Слюдянка-2 средние скорости движения поездов составляют 45 – 55 км/ч, что составляет 75 – 92% от максимально допускаемой 60 км/ч. Однако средняя скорость движения поездов по отдельным кривым (5225 км – выход со ст. Большой Луг, 5303 км – участок приближения к ст. Слюдянка-2) значительно ниже и составляет 42-44 км/ч, что составляет 70-73 % от максимально допускаемой для данного участка. При этом имеется значительный разброс скоростей движения.



При этом возвышение, рассчитанное из условия отсутствия поперечного непогашенного ускорения при средней скорости движения подвижного состава ниже, чем рассчитанное в соответствии с ЦПТ-44/17.

Также выявлены кривые (5226-5227 км, 5231-5232 км, 5296 км), по которым средняя скорость движения близка к допустимой для исследуемого участка и составляет 50-56 км/ч, что составляет 83-93 % от максимально допустимой.



В вышеперечисленных кривых возвышения, рассчитанные из условия отсутствия поперечного непогашенного ускорения при средней скорости движения подвижного состава, значительно выше, чем рассчитанные в соответствии с ЦПТ-44/17.

Забайкальская дирекция инфраструктуры

ПЧ-2 (Хилокская дистанция пути)

6016 км ПК1 (70 м) – 6016 км ПК4 (350м) II пути перегон Тайдут – Могзон. Левая кривая радиусом 430 м, скорость движения поездов 80/70 км/ч, установленное возвышение по проекту 95 мм, фактическое возвышение наружного рельса 95 мм. Профиль пути – подъем 3,8‰, в конце кривой перелом профиля на спуск 1,8‰.

В марте 2021 г. на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования контактно-усталостного выкрашивания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19 с глубиной выкрашивания до 0,6 мм на момент осмотра 18 января 2021 г.). В мае 2021 года выкрашивание наблюдалось на 144 м из 280 м протяженности кривой, максимальная глубина выкрашивания составляла 1,2 мм при пропущенном тоннаже после шлифовки 30 млн. т брутто.

В дефектограммах от 28.09.2021 РДМ-23 № 317 на участке с 6016 км ПК2 (135м) – 6016км ПК4 (350м) по левой нити пути присутствуют постоянные многократно переотражённые сигналы (шумы) по каналам контроля головки рельса №3,6,8,9 с углом ввода 55 гр. и по каналам контроля головки рельса №13,16,18,19 с углом ввода 70 гр. Настройка дефектоскопа

соответствует техническим условиям.

16 октября 2021 г. на 6016 км ПК 1-6 по левой нити выполнена замена рельсовой плети (по контроленепригодности). Нарботка тоннажа на момент изъятия составила 230 млн. т брутто.

6016 км ПК4 (51 м) – 6016 км ПК6 (565м) II пути перегон Тайдут – Могзон. Правая кривая проектным радиусом 425 м, фактический радиус кривой по графической диаграмме вагона-путеизмерителя составляет 435 м. Установленная скорость движения поездов 80/70 км/ч (по паспорту дистанции пути 75/75 км/ч), установленное по проекту возвышение 95 мм, фактическое – 95 мм. Профиль пути – спуск 1,8‰.

В марте 2021 года на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования контактно-усталостного выкрашивания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19 с глубиной выкрашивания до 1,2 мм на момент осмотра 18 января 2021 г.). 17 мая 2021 г. выкрашивание наблюдалось на 35 м из 331 м протяженности кривой, максимальная глубина выкрашивания составляла 1,9 мм (пропущенный тоннаж после шлифовки составлял 30 млн.т брутто).

На дефектограмме от 28.09.2021 РДМ-23 № 317 на участке с 6016 км ПК4 (378м) – 6016км ПК6 (535м) по правой нити пути присутствуют постоянные многократно переотражённые сигналы (шумы) по каналам контроля головки рельса №3,8,9 с углом ввода 55гр и по каналу контроля головки рельса №18 с углом ввода 70гр. Настройка дефектоскопа соответствует техническим условиям.

16 октября 2021 г. на 6016 км ПК1-6 по левой нити выполнена замена рельсовой плети (по контроленепригодности). Нарботка тоннажа на момент изъятия составила 230 млн. т брутто.

6016 км ПК7 (670 м) – 6016 км ПК10 (929 м) II пути перегон Тайдут – Могзон. Левая кривая проектным радиусом 410 м, фактический радиус кривой по графической диаграмме вагона-путеизмерителя составляет 435 м. Установленная скорость движения поездов 80/70 км/ч (по паспорту дистанции пути 80/80 км/ч), проектное возвышение 100 мм, фактическое – 100 мм. Профиль пути – подъем 2,5‰.

В марте 2021 года на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования контактно-усталостного выкрашивания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19 с глубиной выкрашивания до 1 мм на момент осмотра 18 января 2021 г.). 17 мая 2021 г. выкрашивание наблюдалось на 62 м из 257 м протяженности кривой, максимальная глубина выкрашивания составляла 1,9 мм. Пропущенный тоннаж после шлифовки составлял 30 млн.т брутто.

На дефектограмме от 28.09.2021 РДМ-23 № 317 на участке с 6016 км

пк7 (604м) – 6016км ПК8 (704м) по левой нити пути присутствуют постоянные многократно переотражённые сигналы (шумы) по каналам контроля головки рельса №3,6,8,9 с углом ввода 55 гр. и по каналу контроля головки рельса №18, 19 с углом ввода 70 гр. Настройка дефектоскопа соответствует техническим условиям.

2 октября 2021 г. на 6016 км ПК7-10 по правой нити выполнена смена плети по контроленепригодности. Нарботка тоннажа на момент замены плети составила 230 млн. т брутто.

6023 км ПК 3 (98,2 м) – 6023 км ПК7 (42,79 м) II пути перегон Тайдут – Могзон. Левая кривая радиусом 375 м, установленная скорость движения поездов 80/80 км/ч, проектное возвышение 105 мм, фактическое – 120 мм.

В марте 2021 года на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования контактно-усталостного выкрашивания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19 с глубиной выкрашивания до 1 мм на момент осмотра 18 января 2021 г.). 17 мая 2021 г. выкрашивание наблюдалось на 64 м из 495 м протяженности кривой, максимальная глубина выкрашивания составляла 1,3 мм (пропущенный тоннаж после шлифовки составлял 30 млн. т брутто).

22 июля 2021 г. при наработке 160 млн. т брутто выполнена смена плети по нижней нити по причине контроленепригодности.

На момент осмотра 18 октября 2021 г. на рельсах по внутренней нити наблюдается сетка трещин, расположенных под углом к направлению движения поездов.

6029 км ПК 3 (242 м) - 6029 км 7 (697 м) II путь перегона Тайдут – Могзон. Левая кривая радиусом 412 м, установленная скорость движения поездов 80/80 км/ч, проектное возвышение 105 мм, фактическое – 105 мм, фактический радиус кривой 420 м.

В марте 2021 года на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования контактно-усталостного выкрашивания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19 с глубиной выкрашивания до 1 мм на момент осмотра 18 января 2021 г.). 17 мая 2021 г. выкрашивание наблюдалось на 255 м из 455 м протяженности кривой, максимальная глубина выкрашивания составляла 1,5 мм. Пропущенный тоннаж после шлифовки составлял 30 млн. т брутто.

19 августа 2021 г. при наработке 170 млн. т брутто выполнена смена плети по нижней нити по причине контроленепригодности.

ПЧ-3 (Могзонская дистанция пути)

6145 км ПК 7 (635 м) – 6146 км ПК2 (104 м), II путь перегона Лесная – Домна. Левая кривая, радиус кривой 315 м, установленная скорость движения 70/60 км/ч, проектное возвышение 95 мм, фактическое – 95 мм.

Профиль пути – с 6145 км ПК7 до ПК10 спуск 3,3‰, с ПК10 до 6146 км ПК 2 подъем 2,4‰.

В апреле 2021 года на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования контактно-усталостного выкрашивания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19 с глубиной выкрашивания до 1,5 мм на момент осмотра 18 января 2021 г.). 17 мая 2021 г. выкрашивание наблюдалось локально глубиной до 0,1 мм. Пропущенный тоннаж после шлифовки составляет 15 млн. т брутто.

После выполнения шлифовки рельсов волнообразного износа (рифлей) не наблюдалось.

18 октября 2021 г. по нижней нити наблюдается сетка трещин и локальное выкрашивание глубиной 0,2 мм на протяжении 50 м. По наружной нити боковой износ рельсов составляет 15 мм, максимальная глубина выкрашивания рельсов по наружной нити составляет 1,5 мм.

6141 км ПК 8 (793 м) - 6142 км ПК 3 (266 м) II пути перегона Лесная–Домна. Левая кривая, радиус кривой 315 м, установленная скорость движения 70/60 км/ч, возвышение по проекту 95 мм, фактическое – 90 мм. Профиль пути–подъем 7‰.

В апреле 2021 года на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования контактно-усталостного выкрашивания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19 с глубиной выкрашивания до 1,5 мм на момент осмотра 18 января 2021 г.). 17 мая 2021 г. выкрашивание наблюдалось локально глубиной до 0,5 мм (пропущенный тоннаж после шлифовки составлял 15 млн. т брутто).

После выполнения шлифовки рельсов волнообразный износ (рифли) наблюдался локально с глубиной волны – 0,1 мм.

18 октября 2021 г. наблюдается интенсивное выкрашивание рельсов по наружной нити с максимальной глубиной до 2 мм на протяжении всей кривой. Запланирована замена рельсовых плетей по боковому износу в совокупности с 19, 12 кодами дефектов.

6142 км ПК 3 (281 м) - 8 (796 м) II пути перегона Лесная – Домна. Радиус кривой 316 м, установленная скорость движения 70/60 км/ч, возвышение по проекту 95 мм, фактическое – 100 мм. Профиль пути – подъем 281-350 м 5,9‰, 350-600 м 8,6‰, 600-796 м 4,7‰.

В апреле 2021 года на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования контактно-усталостного выкрашивания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19 с глубиной выкрашивания до 1,2 мм на момент осмотра 18 января 2021 г.). 17 мая 2021 г. выкрашивание не наблюдалось по обеим нитям (пропущенный тоннаж после шлифовки составлял 15 млн. т брутто).

После выполнения шлифовки рельсов волнообразный износ (рифли) не наблюдался.

18 октября 2021 г. наблюдается интенсивное выкрашивание рельсов по наружной нити с максимальной глубиной до 1,5 мм на протяжении всей кривой. Запланирована замена рельсовых плетей по боковому износу (до 17 мм) в совокупности с 19, 11 кодами дефектов.

6142 км пк 8 (796 м) – 6143 км пк1 (95 м) II пути перегона Лесная – Домна. Левая кривая, радиус кривой 324 м, установленная скорость движения 70/60 км/ч, возвышение по проекту 95 мм, фактическое – 95 мм. Профиль пути – с 6142 км пк8 по пк9 подъем 4,7%, с пк9 до 6143 км пк 2 подъем 8,8%.

В апреле 2021 года на участке выполнена шлифовка рельсов ввиду образования контактно-усталостного выкрашивания и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта 19 с глубиной выкрашивания до 1,2 мм на момент осмотра 18 января 2021 г.). 17 мая 2021 г. выкрашивание не наблюдалось (пропущенный тоннаж после шлифовки составляет 15 млн. т брутто).

6200 км пк1 (91 м)-8 (760 м) км II пути перегона Чита – Антипиха. Участок пути 6200 км пк1 (91м) – пк 5 (470м), радиус кривой 327м, возвышение 90 мм, установленная скорость движения 60/60 км/ч. Участок пути с 6200 км пк5 (410 м) – пк6 (560м), радиус кривой 290 м, возвышение 60 мм, установленная скорость движения поездов 50/50 км/ч. Участок пути 6200км пк6(560м) – пк8(760м), радиус кривой 400 м, возвышение наружного рельса 65 мм, установленная скорость движения поездов 60/60 мм.

Максимальный боковой износ рельсов категории ДТ350 составляет 14,8 мм, категории ДТ400 ИК – 11,69 мм.

Интенсивность износа в кривой радиусом 327 м составила для рельсов категории ДТ350 0,054 мм/млн. т брутто, для рельсов категории ДТ400ИК 0,045 мм/млн. т брутто.

Интенсивность износа в кривых радиусом 290, 400 м составила для рельсов категории ДТ350 соответственно 0,063 мм/млн. т брутто и 0,057 мм/млн. т брутто, для рельсов категории ДТ400ИК 0,039 мм/млн. т брутто и 0,038 мм/млн. т брутто соответственно (кривые не соответствуют методике испытания по протяженности круговой кривой – менее 300 м).

Эффективность для вышеуказанного участка по износостойкости рельсов категории ДТ400ИК над ДТ350 составляет от 12,46% до 17,63%, по участку, соответствующему методике испытаний (радиус 327 м) – 16,86%.

По внутренней нити наблюдается закатывание выкрашиваний по рельсам обеих категорий. Протяжение участков с выкрашиваниями на рельсах ДТ350 составляет 40 м (максимальная локальная глубина

выкрашивания 2,5 мм), на рельсах категории ДТ400 ИК – 60 м (максимальная глубина 1,1 мм).

Вертикальный износ рельсов по внутренней нити составляет в среднем (в круговых кривых) рельсов категории ДТ350 - 3,7 мм, ДТ400ИК - 3,25 мм.

6201 км пк 5 (419 м)– пк 10 (910 м) II пути перегона Чита – Антипиха. Радиус кривой на 6201 км 419-569 м – 325 м, возвышение наружного рельса 95 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч. Радиус кривой 315 м на 6201 км 570 – 910 м, протяженность круговой кривой 300 м, возвышение наружного рельса 95 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч.

Максимальный боковой износ рельсов категории ДТ350 составляет 15,51 мм, категории ДТ400 ИК – 12,65 мм.

Средняя интенсивность бокового износа рельсов категории ДТ350 на момент промера составляет 0,060 мм/млн. т брутто, рельсов категории ДТ400ИК 0,049 мм/млн. т брутто.

Эффективность по износостойкости рельсов категории ДТ400ИК над ДТ350 составляет 17,89%.

На рельсах внутренних нитей наблюдаются локальные выкрашивания по рельсам категории ДТ350 на протяжении 40 м с максимальной глубиной 1,6 мм, на рельсах категории ДТ400ИК на протяжении 40 м с максимальной глубиной 1 мм. Вертикальный износ рельсов по внутренней нити составляет в среднем (в круговых кривых) рельсов категории ДТ350 - 3,2 мм, ДТ400ИК – 2,8 мм.

ПЧ-9 (Могочинская дистанция пути)

6885 км пк 10 – 6885 км пк 1 II пути перегона Пеньковая – Могоча.

Радиус кривой 324 м, протяженность круговой кривой 820 м, возвышение наружного рельса 95 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч.

Максимальный боковой износ рельсов категории ДТ350 составляет 14,05 мм, категории ДТ400 ИК – 11,09 мм.

Средняя интенсивность бокового износа рельсов категории ДТ350 на момент промера составляет 0,067 мм/млн. т брутто, рельсов категории ДТ400ИК - 0,056 мм/млн. т брутто.

Эффективность по износостойкости рельсов категории ДТ400ИК над ДТ350 составляет 17,51%.

По рельсам внутренней нити наблюдаются выкрашивания, протяжение длины участка с выкрашиванием на рельсах категории ДТ400 ИК составляет 190 м с максимальной глубиной 0,9 мм, по рельсам категории ДТ350 на протяжении 170 м с максимальной глубиной 1,1 мм. По внутренней нити наблюдается закатывание выкрашиваний по обеим категориям относительно

предыдущих промеров.

Вертикальный износ рельсов по внутренней нити составляет в среднем (в круговых кривых) рельсов категории ДТ350 - 3,43 мм, ДТ400ИК – 2,9 мм.

ПЧ-11 (Ерофей Павловичская дистанция пути)

7134 км пк 3 (240 м) – 7135 км пк 1 (001 м) II пути перегона Ерофей Павлович – Сегачама. Радиус кривой 324 м возвышение наружного рельса 90 мм, установленная скорость движения поездов 60/60 км/ч. Профиль участка – на 7134 км 240 м – 490 м спуск 6,6‰, 7134 км 490-700 м спуск 7,9 ‰, 7134 км 700 м – 7135 км 001 м спуск 14,7‰.

Максимальный боковой износ рельсов категории ДТ350 составляет 15,26 мм, категории ДТ400 ИК – 13,54 мм.

Средняя интенсивность бокового износа рельсов категории ДТ350 на момент промера составляет 0,074 мм/млн. т брутто, рельсов категории ДТ400ИК 0,062 мм/млн. т брутто.

Эффективность по износостойкости рельсов категории ДТ400ИК относительно ДТ350 составляет 16,48%.

На рельсах внутренней нити наблюдается выкрашивание. На рельсах категории ДТ350 на протяжении 260 м с максимальной глубиной 1,5 мм, на рельсах категории по ДТ400ИК на 130 м с глубиной 1 мм. По внутренней нити наблюдается значительное закатывание выкрашиваний по рельсам обеих категорий. Максимальная глубина выкрашивания наблюдается на участках с уклоном 14,7‰ для рельсов обеих категорий.

Вертикальный износ рельсов по внутренней нити составляет в среднем (в круговых кривых) рельсов категории ДТ350 - 2,6 мм, ДТ400ИК – 2,23 мм.

7132 км пк 4 (354 м) – 7133 км пк 9 (878 м) II пути перегона Ерофей Павлович – Сегачама.

На участке устроена многорадиусная кривая:

7132 км 354 м -878 м радиусом 319 м, возвышение 100 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч;

7132 км 878 м -7133 км 011 м радиусом 310 м, возвышение 100 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч;

7133 км 011 м -426 м радиусом 323 м, возвышение 100 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч;

7133 км 426 м – 7133 км 819 м радиусом 311 м, возвышение 100 мм, установленная скорость движения поездов 70/60 км/ч.

Профиль пути на участке:

7132 км 354 м – 447 м спуск 5,8 ‰;

7132 км 447 м – 645 м спуск 8,8 ‰;

7132 км 645 м – 900 м спуск 6,4 ‰;

7132 км 900 м – 7133 км 100 м спуск 4,8‰;

7133 км 100 м – 480 м спуск 5,2 ‰;

7133 км 480 м – 819 м спуск 10,3 ‰.

Максимальный боковой износ рельсов категории ДТ350 составляет 18,33 мм, категории ДТ400 ИК – 17,48 мм.

Средняя интенсивность бокового износа рельсов категории ДТ350 на составила 0,081 мм/ млн. т брутто, для рельсов ДТ400ИК – 0,070 мм/ млн. т брутто.

Эффективность по износостойкости рельсов категории ДТ400ИК относительно ДТ350 составляет – 14,16%.

Выкрашивание поверхности катания рельсов по внутренней нити наблюдается на обеих категориях. На рельсах ДТ350 на 175 м с глубиной 1 мм, на рельсах категории ДТ400 ИК на 342 м с глубиной 1,1 мм.

Вертикальный износ рельсов по внутренней нити составляет в среднем (в круговых кривых) рельсов категории ДТ350 - 3,57 мм, ДТ400ИК – 2,85 мм.

7125 км пк 2 (161 м) – пк 10 (966 м) II пути перегона Ерофей Павлович – Сегачама.

На участке пути устроена многорадиусная кривая:

7125 км 161 м - 659 м радиусом 323 м, возвышение наружного рельса 95 мм, скорость движения поездов 65/65 км/ч;

7125 км 659 м - 744 м радиусом 870 м, возвышение наружного рельса 50 мм, скорость движения поездов 65/65 км/ч;

7125 км 744 м – 966 м радиусом 313 м, возвышение наружного рельса 50 мм, скорость движения поездов 65/65 км/ч.

Профиль пути на участке

7125 км 161 м – 300 м подъем 9,4 ‰;

7125 км 300 м - 500 м подъем 6,4 ‰;

7125 км 500 м - 700 м подъем 8,8 ‰;

7125 км 700 м - 935 м подъем 5,3 ‰;

7125 км 935 м - 966 м подъем 7,3 ‰.

Максимальный боковой износ рельсов категории ДТ350 составляет 20,32 мм, категории ДТ400 ИК – 19,42 мм.

Средняя интенсивность бокового износа рельсов категории ДТ350 составила 0,095 мм/ млн. т брутто, для рельсов ДТ400ИК – 0,084 мм/ млн. т брутто.

Эффективность по износостойкости рельсов категории ДТ400ИК над ДТ350 составляет – 11,38%.

Выкрашивание по внутренней нити на большей части кривой отсутствует. Наблюдается на рельсах категории ДТ400ИК и сочетается с волнообразным износом и отрясенными шпалами. Глубина выкрашивания составляет 0,5-0,6 мм на протяжении 30 м.

Вертикальный износ рельсов по внутренней нити составляет в среднем (в круговых кривых) рельсов категории ДТ350 - 3,81 мм, ДТ400ИК – 3,37 мм.

Выводы и рекомендации

1. На всех экспериментальных участках укладки рельсов, сваренных в плети методом чередования двух категорий ДТ400ИК и ДТ350 (12 участков протяжением 9,6 км в границах Забайкальской дирекции инфраструктуры пути и 12 участков протяжением 2,4 км пути в границах Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры) испытания по оценке их износостойкости завершены ввиду достижения рельсами предельного бокового износа.

2. Ввиду несоответствия части кривых по Восточно-Сибирской и Забайкальской дирекциям инфраструктуры требованиям методики по оценке эффективности по износостойкости рельсов категории ДТ400ИК над рельсами категории ДТ350 к учету принять результаты по 5 участкам Забайкальской дирекции инфраструктуры:

6200 км пк 1 – 5 П главного пути – 16,86%;

6201 км пк 5 – 10 П главного пути – 17,89%;

6885 км пк 1 – 10 П главного пути – 17,51%;

7125 км пк 2 – 10 П главного пути – 11,91%;

7132 км пк 4 – 7133 км пк 9 П главного пути – 14,16%;

7134 км пк 3 – 10 П главного пути – 16,48%.

3. Интенсивность износа рельсов как категории ДТ350, так и ДТ400ИК зависит от реализации скоростей движения грузовых поездов – чем выше значения фактических скоростей движения поездов при минимальной их дисперсии, тем ниже интенсивность бокового износа рельсов.

4. Интенсивность износа рельсов снижается на участках с соблюдением периодичности работы мобильных средств лубрикации и ее качества. Стационарный лубрикатор на 5298 км П пути перегона Ангасолка – Слюдянка-2 Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры на момент осмотра находится в нерабочем состоянии.

5. На всех подконтрольных участках в границах ПЧ-9 (Слюдянская дистанция пути) Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры, ПЧ-2 (Хилокская дистанция пути), ПЧ-3 (Могзонская дистанция пути), ПЧ-4 (Читинская дистанция пути), ПЧ-9 (Могочинская дистанция пути), ПЧ-11 (Ерофей Павловичская дистанция пути) Забайкальской дирекции инфраструктуры по внутренним нитям кривых радиусами менее 450 м на участках с грузонапряженностью более 160 млн. т брутто в период приработки (при наработке тоннажа 40 - 80 млн. т брутто) наблюдается

выкрашивание поверхности катания рельсов категории ДТ350, ДТ370 ИК, ДТ400ИК.

На отдельных контрольных участках, где рельсы категории ДТ370ИК уложены в 2019 году и выкрашивание развивалось интенсивно после пропуска 80 млн. т брутто при наработке 150-250 млн. т брутто (6016 км пк 1-6 II главного пути, 6023 км пк 4-7, 6029 км пк 3-7), выполнены смены плетей по причине контроленепригодности рельсов (код дефекта 19).

На участках, где наблюдается интенсивное выкрашивание поверхности катания рельсов, шлифование не исключает дальнейшее повторное образование повреждений при наработке от 15 до 50 млн. т брутто.

6. Скорость и интенсивность развития выкрашиваний поверхности катания рельсов всех категорий зависит от реализации скоростей движения грузовых поездов – чем выше значения фактических скоростей движения поездов при минимальной их дисперсии, тем ниже интенсивность выкрашивания и скорость их развития.

7. Скорость и интенсивность выкрашивания рельсов всех категорий зависят от дополнительных факторов – наличие участков с запесочиванием, наличие участков с повышенной жесткостью подрельсового основания (тоннель с уменьшенной толщиной щебня), участки, примыкающие к зонам сварных стыков и прочие.

8. На отдельных участках наблюдается закатывание выкрашиваний поверхности катания головки рельсов (6016 км пк 1-10 II главного пути ПЧ-2 Хилокская). Отмечено, что закатывание и уменьшение глубины выкрашиваний не исключает риски наличия шумов при контроле рельсов средствами неразрушающего контроля, как следствие, неконтролируемые рельсы с закатанными дефектами на поверхности катания заменены по ПЧ-2 ЗАБ ДИ в июле-октябре 2021 г. на 6016, 6023, 6029 км II пути.

9. На 6141-6142, 6145-6146 км II главного пути ПЧ-3 (Могзонской дистанции пути) пути выкрашивание поверхности катания рельсов наблюдается и на наружных нитях кривых. Образование дефектов по коду 44 и 12 на рельсах в границах указанного участка допущено в гарантийный период, ввиду чего Забайкальской ДИ требуется провести рекламационную работу по рельсам категории ДТ370ИК по мере замены рельсовых плетей.

10. На основании анализа эффективности эксплуатации рельсов повышенной износостойкости и контактной выносливости (ДТ370ИК, ДТ400ИК) и подтверждения их эффективности относительно рельсов общего назначения по износостойкости рекомендовать их к укладке в наружные нити кривых участков пути радиусами менее 650 м с грузонапряженностью более 80 млн. т брутто.

Эффективность эксплуатации рельсов повышенной износостойкости и контактной выносливости (ДТ370ИК, ДТ400ИК) во внутренних нитях кривых на данном этапе не может быть установлена ввиду недостатка экспериментальных данных. Эксплуатационные испытания плетей, сваренных методом чередования из рельсов категории ДТ400ИК и ДТ350, по внутренним нитям в кривых продолжаются.

11. АО «ВНИИЖТ», ЦДИ ЦП произвести работу по актуализации действующих нормативных документов по определению возвышений наружного рельса и допускаемых скоростей движения в кривых для обеспечения оптимизации взаимоувязанных соотношений возвышения и скоростей движения поездов.

12. Отметить необходимость разработки и внедрения специализированной схемы профилактического и профильного шлифования рельсов (ремонтного профиля) на участках пути, где наблюдаются выкрашивания и вертикальный износ, сопровождающийся формированием продольного желоба на поверхности катания головки рельса.

Председатель комиссии:

И. о. начальника
Восточно-Сибирской ДИ

Ю.С.Разгильдеев

Начальник Забайкальской ДИ

Е.М.Кондратьев

Члены комиссии:

Начальник отдела Управления
пути и сооружений ЦДИ

О.Н.Ваганова

Ведущий инженер Управления
пути и сооружений ЦДИ

С.А.Васильева

И.о. главного инженера службы пути
Забайкальской ДИ

А.В.Селивёрстов

Инженер второй категории НЦ «РСТМ»
АО «ВНИИЖТ»

П.В.Иванов

Инженер второй категории НЦ «РСТМ»
АО «ВНИИЖТ»

Д.А.Дмитриев

Директор дирекции по развитию рельсового
проката ООО «ЕВРАЗ»







С особым вниманием по 1.

А.И.Борц

Начальник отдела
ООО «ЕВРАЗ»

С особым вниманием по 1.

Д.Б.Некрасов

Главный специалист отдела ООО «ЕВРАЗ» <i>(С особым вниманием)</i>		К.Ю.Лыков
Главный специалист отдела ООО «ЕВРАЗ» <i>в особом смысле</i>		С.В.Палагин
Начальник Дальневосточной сетевой путеобследовательской станции ПКБ И		А.Г.Рычков
Начальник Западно-Сибирской сетевой путеобследовательской станции ПКБ И		О.М.Соколов
Главный специалист отдела пути и станций института «Иркутскжелдорпроект»		М.А.Анчутин
Заместитель начальника стационарной лаборатории дефектоскопии Читинского РЦДМ		С.С.Булгаков
Заместитель начальника лаборатории дефектоскопии Иркутского РЦДМ		В.Н.Войтенко