

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

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2024

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Певзнер Виктор Ошерович

Официальные оппоненты: **Краснов Олег Геннадьевич**,
доктор технических наук,
акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава», отдел пути и специального подвижного состава, заведующий отделом;
Романов Андрей Валерьевич,
кандидат технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Железнодорожный путь», заведующий кафедрой.

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

Защита состоится «16» мая 2024 г. в 13:00 на заседании диссертационного совета 40.2.002.03 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 329 (ул. Часовая, д. 22/2, стр. 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ) www.mii.ru.

Автореферат разослан «__» марта 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Гринь Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. За последние пять лет грузооборот на сети ОАО РЖД» увеличился на 24% и по прогнозам будет продолжать расти. 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 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 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). Основными причинами расстройств пути в кривых является отклонение от проекта, их многорадиусность, несовпадение отводов кривизны и возвышения, нереализация установленных скоростей движения поездов и расстройств в плане.

Изменившиеся в последние годы условия эксплуатации пути потребовали пересмотреть подходы к устройству и содержанию кривых участков пути, с учетом особенностей пассажирского, высокоскоростного и тяжеловесного движения поездов. Это требует серьезного переосмысления в вопросах соблюдения технологической дисциплины при планировании и выполнении работ по ремонту и обслуживанию инфраструктуры.

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, Балуха Х., Бельтюкова В.П., Блажко Л.С., Бучкина В.А., Быкова Ю.А., Вериго М.Ф., Глюзберга Б.Э., Дубровской Т.А., 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 решены 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 расстройство 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 расстройство 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 расстройств 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, 2021 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.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем работы с приложением – 169 страниц. Диссертация содержит 42 таблицы, 47 рисунков, 1 приложение и 90 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследования, показана научная новизна и практическая значимость диссертационной работы. Отражены проблемы устройства и содержания пути в плане и отсутствие нормативов оценки отклонения положения кривых в плане от проектного положения в связи с развитием тяжеловесного, высокоскоростного движения и необходимостью увеличения пропускной и провозной способности линий.

В первой главе проведен анализ отечественного и мирового опыта по проектированию, устройству и содержанию кривых участков пути.

Решение вопросов по оптимальному устройству кривых участков пути в условиях внедрения тяжеловесного и высокоскоростного движения требует пристального внимания при проектировании и планировании требуемого объема ремонтно-путевых работ с дифференцированным подходом в зависимости от специализации пути.

Анализ нормативной документации показал, что отсутствует дифференцированный подход к проектированию кривых участков пути для тяжеловесного (интенсивного грузового) и высокоскоростного движения, существующие нормативы по устройству и содержанию кривых участков не учитывают проблемы накопления деформаций и расстройства кривых при движении поездов повышенной массы и длины.

Для более точного и обоснованного подхода к устройству кривых в зависимости от условий эксплуатации (грузовое, пассажирское движение) необходимо тщательно изучить факторы, описывающие устройство кривых и их влияние на интенсивность износа рельсов и выход рельсов по дефектности.

Во второй главе описаны результаты эксплуатационных наблюдений за состоянием кривых участков пути на осбогрузонапряженных ходах в границах Забайкальской, Восточно-Сибирской, Южно-Уральской и Свердловской ж.д.

Опытные участки были выбраны из условия наличия кривых радиусов менее 350 м, средних радиусов 350-650 м и пологих – с радиусами более 650 м.

Все участки являются особогрузонапряженными, что позволило в течение года оценить влияние параметров устройства кривых на износ рельсов, а также применения рельсов различных категорий на предмет их износостойкости, сопротивления поверхностным выкрашиваниям и выхода по дефектам.

В границах Восточно-Сибирской и Забайкальской ж.д. наблюдались 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). На Свердловской и Южно-Уральской ж.д. наблюдались участки с рельсами ДТ350. В рамках эксперимента определены факторы, влияющие на интенсивность бокового износа и выкрашиваний поверхности катания рельсов. Проведен анализ соответствия фактических возвышений наружного рельса реализуемым скоростям, работы передвижных лубрикаторов и шлифования рельсов.

Исследования проводились на участках пути, расположенных на участках подъема, спуска, с переломом профиля, и многорадиусных кривых. 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 ж.д. – Большой Луг – Слюдянка. Выборка включала 29 поездов в 73 кривых. Масса поездов составила от 6161 т до 7106 т. Для каждой кривой определены минимальная, максимальная и средняя скорости движения.

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).

Результаты проведенного анализа показали, что в кривых перевального участка Большой Луг – Слюдянка на участках спусков реализуются меньшие скорости движения, чем на участках подъемов – рисунок 1.

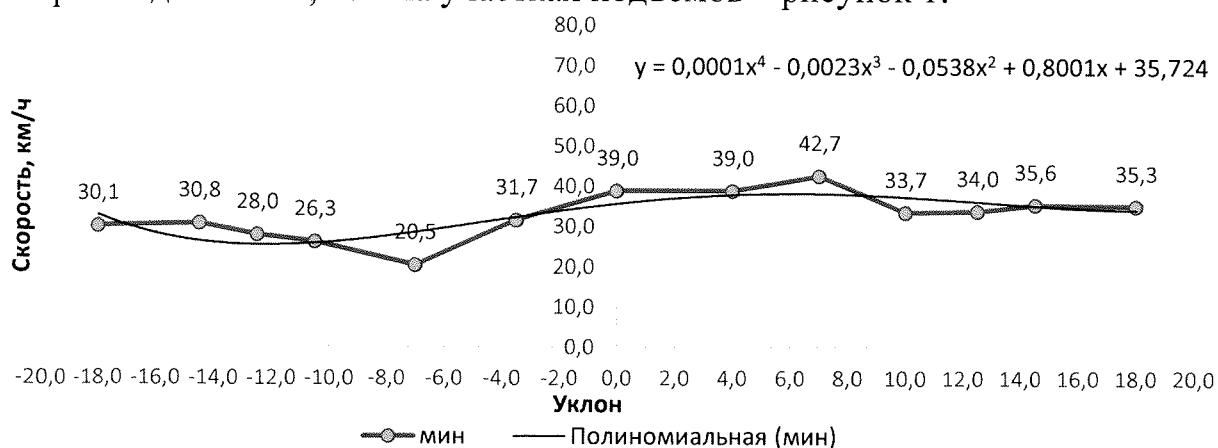


Рисунок 1 – Распределение минимальных скоростей движения по диапазонам уклонов

По результатам проведенного анализа на участках крутых подъемов и спусков (с уклоном более 14 %) были получены диаграммы распределения минимальной и максимальной величины реализуемой скорости в группе минимальных, максимальных и средних скоростей на подъемах и спусках круче 14‰ – значения скоростей движения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Минимальные и максимальные скорости движения на подъемах и спусках круче 14‰ в группе минимальных, максимальных и средних скоростей

Условие эксплуатации кривого участка пути	Минимальные скорости, км/ч		Максимальные скорости, км/ч	
	на подъемах	на спусках	на подъемах	на спусках
круче 14‰ в группе минимальных скоростей движения	21	11	49	41
круче 14‰ в группе максимальных скоростей движения	48	50	59	60
круче 14‰ в группе средних скоростей движения	43,4	34,8	55,7	52,6

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

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.

Результаты эксплуатационных наблюдений за контрольными участками и проведенного эксперимента по укладке рельсовых плетей, сваренных методом чередования из рельсов категории ДТ350 и ДТ400ИК приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Средняя интенсивность бокового износа рельсов различных категорий на участках различных групп радиусов, мм/млн. т брутто

Радиус кривых	Категория рельсов		
	ДТ350	ДТ370ИК	ДТ400ИК
менее 350 м	0,089	0,084	0,065
от 350 до 650 м	0,063	0,0255	-
более 650 м	0,031	-	-

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 ж.д. $F_{кр} = 2,6632870 > 2,65$ показал, что разница статистически не значима. Для получения более точных результатов, необходимо увеличить объем выборки.

В ходе исследования проведена оценка тесноты корреляционных связей между интенсивностью бокового износа рельсов (результативный признак) и эксплуатационными параметрами (факторные признаки): план и профиль

кривой, уровень непогашенного ускорения в кривой, подуклонка рельсов. Характеристики опытных кривых сваренных методом чередования 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. Связь между результативным и указанными факторными признаками носит нелинейный характер и описана полиномиальными функциями различных степеней. Результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов

	Уравнение	p	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
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

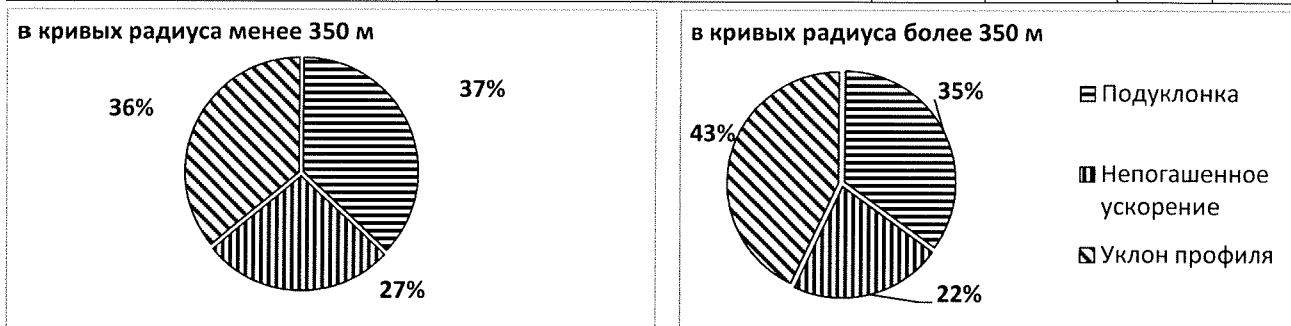


Рисунок 2 – Диаграммы распределения степени влияния факторных признаков (в процентном соотношении) на интенсивность износа рельсов в опытных кривых на Забайкальской и Восточно-Сибирской ж.д.

В результате сравнительного анализа полученных коэффициентов детерминации были построены диаграммы распределения степени влияния различных факторных признаков на интенсивность износа рельсов (без учета смазки, принятой постоянной на всех участках) (рисунок 2).

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 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. Экспериментальные зависимости, полученные в результате обработки массива опытных данных представлены на рисунках 3 – 5.

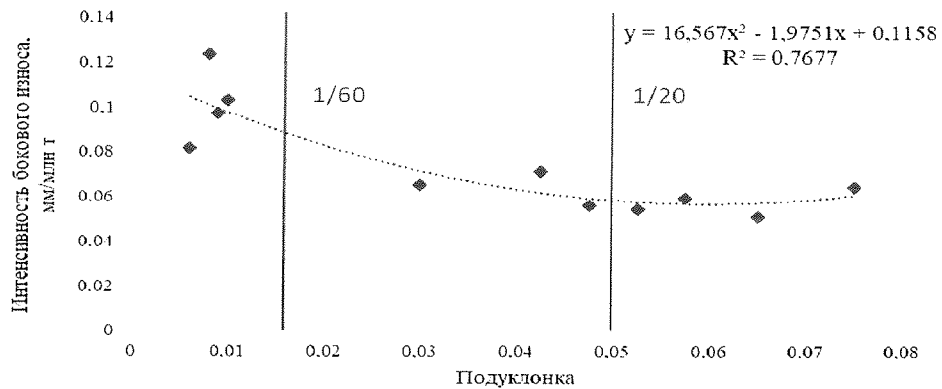


Рисунок 3 – Зависимость интенсивности износа рельсов от подуклонки в кривых радиуса менее 350 м.

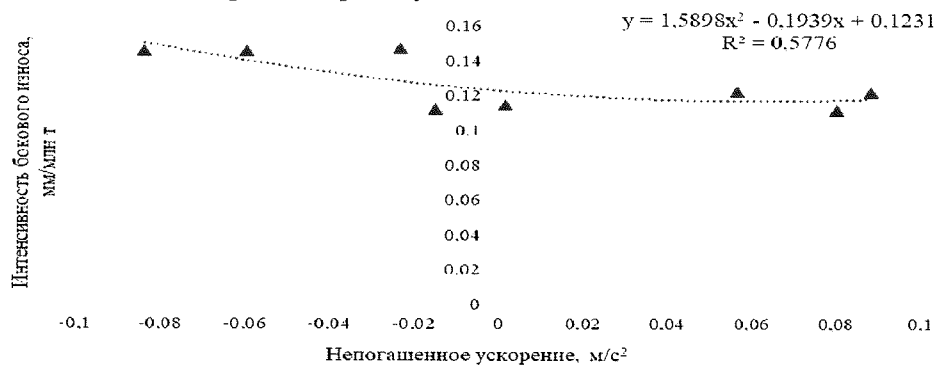


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности износа рельсов от непогашенного ускорения в кривых радиуса менее 350 м

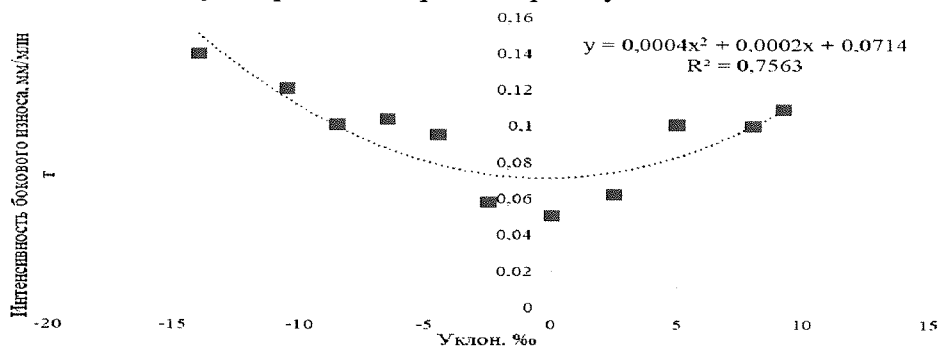


Рисунок 5 – Зависимость интенсивности износа рельсов от уклона профиля в кривых радиуса менее 350 м

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 $a_{\text{нп}} = -0,1 \dots + 0,1 \text{ м/с}^2$ показывает, что возвышение наружного рельса в кривых на участках грузового движения с высокой грузонапряженностью, целесообразно определять из условия движения с непогашенным ускорением $a_{\text{нп}} \sim 0 \text{ м/с}^2$, 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.

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).

Анализ скоростей движения поездов и эксплуатационных параметров показал, что не реализация установленных скоростей движения влечет за собой перевозвышение наружного рельса в кривых, перегруз 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 $15-20 \text{ млн. т брутто}$) наблюдаются более интенсивные выкрашивания поверхности катания рельсов.

Проведенные эксплуатационные наблюдения за состоянием кривых участков пути позволяют сделать 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.

В третьей главе рассмотрены вопросы влияния отклонения натурной кривой от базового положения на показатели взаимодействия пути и подвижного состава.

Для установления взаимосвязи между регистрируемыми отклонениями натурной кривой от базового положения и уровнем возникающих при этом поперечных сил, проведены расчеты в программном комплексе

«Универсальный механизм» для последующего нормирования допускаемых величин отклонений от базового положения.

На рисунке 6 в виде осциллограмм представлены результаты расчета рамных сил при движении грузового вагона с нагрузкой на ось 23,5 тс со скоростями 60 км/ч по кривой, представленной в виде модели пути в базовом (проектном) и натурном положениях.



Рисунок 6 – Результаты расчета рамных сил со скоростью движения 60 км/ч.

Из таблицы 4 видно, что средние значения боковых 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.

Таблица 4 – Пример 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

Для проверки адекватности результатов расчетов были выбраны кривые радиусов 350 – 650 метров. Полученные значения рамных сил показали хорошую коррессируемость с результатами натуральных испытаний и расчетов, приведённых в трудах – Ершкова О.П., Певзнера В.О., Ромена Ю.С.

Проведен эксперимент по оценке влияния отклонения положения пути в плане различной величины на уровень рамных сил для условий кривых ПЧ-Верещагинская Свердловской ж.д. Параметры выбранных кривых представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры кривых для ввода в программный комплекс «Универсальный механизм»

Номер кривой	1	2	3
Параметры			
Переходной участок (заезд), м	50	90	100
Длина кривой постоянного радиуса, м	695	940	310
Переходной участок (выезд), м	70	90	100

Номер кривой	1	2	3
Параметры			
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» были внесены параметры смоделированных отклонений длиной 15 и 30 метров амплитудами 10, 13, 20, 30 мм. Наибольшее значение рамной силы при расчете в кривой без неровностей было получено в кривой 2 с наименьшим радиусом. Результаты приведены на рисунках 7 – 9.

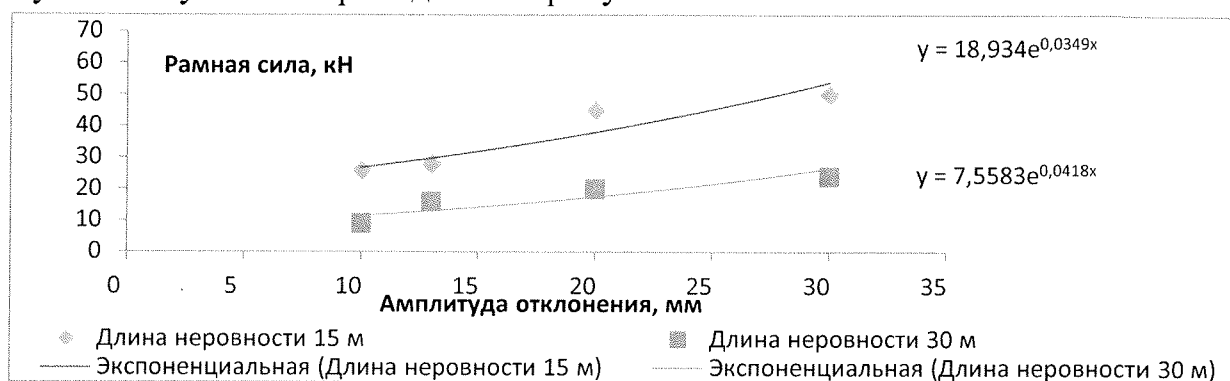


Рисунок 7 – Зависимости рамных сил от амплитуды отклонений в кривой 1 (630; 0,085; -0,2)

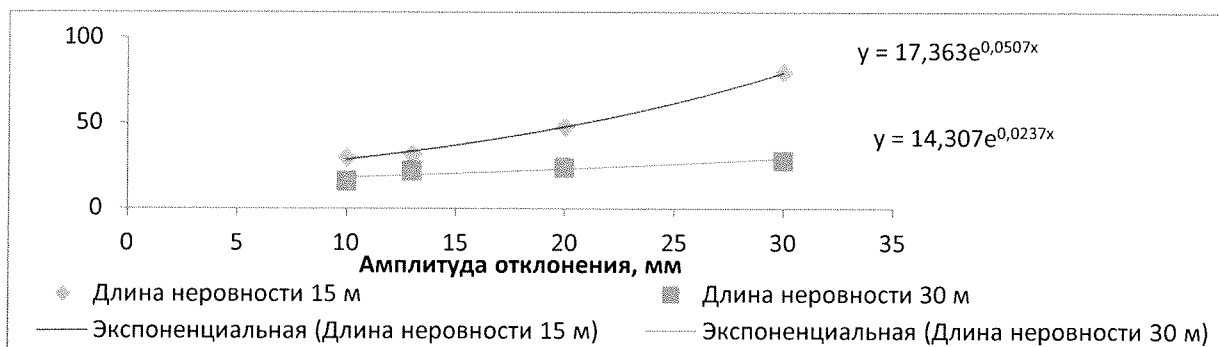


Рисунок 8 – Зависимости рамных сил от амплитуды отклонений в кривой 2 (533; 0,105; -0,3)

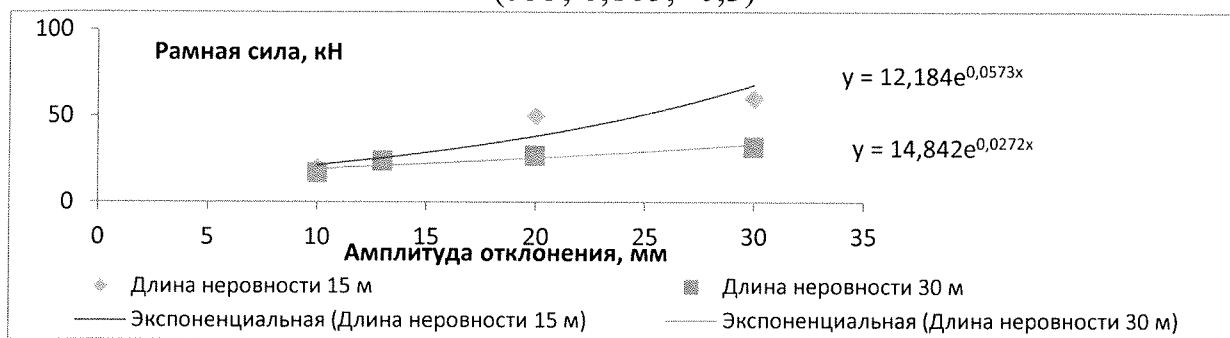


Рисунок 9 – Зависимости рамных сил от амплитуды отклонений в кривой 3 (605; 0,105; -0,3)

По результатам анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что рост числа и амплитуды отклонений ведет к увеличению боковых сил, при

этом 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.

Результаты моделирования движения грузового вагона с нагрузкой 23,5 тс со скоростями 60 и 80 км/час по однорядусной кривой радиусом 450 метров и многорядусной кривой, включающих в себя четыре круговые кривые (радиусы: 545 м, 970 м, 315 м и 530 м) показали рост рамных сил в многорядусной кривой по сравнению с однорядусной (рисунок 10), что подтверждается неравномерностью уровня изнашивания рельсов в многорядусных кривых (рисунок 11) и неизбежно ведет к нерациональности в проведении ремонтных работ и обслуживании пути, поскольку необходимость замены рельсов на всей кривой определяется по самому изношенному участку.

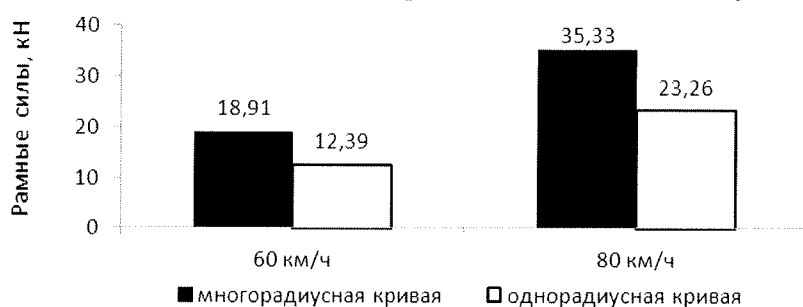


Рисунок 10 – Рамные силы при движении грузового вагона в многорядусной и однорядусной кривых.

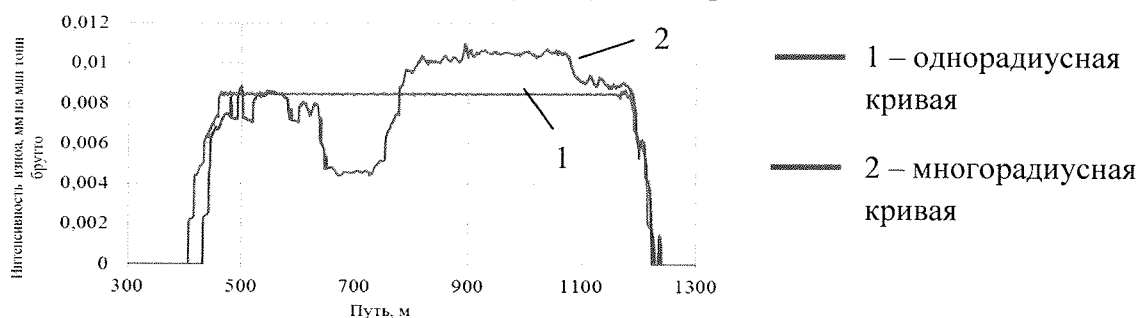


Рисунок 11 – Сравнение интенсивности бокового износа рельсов в многорядусной и однорядусной кривой.

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:

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

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

имеет место неравномерность уровня изнашивания рельсов в многорядусных кривых, что неизбежно ведет к нерациональности в проведении ремонтных работ и обслуживании пути, поскольку необходимость

замены рельсов на всей кривой определяется по самому изношенному участку.

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.

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 диссертации использованы при разработке Инструкции, определяющей единый порядок и содержание кривых участков пути на стадиях проектирования и эксплуатации с целью минимизации расстройств и износов верхнего строения пути.

В четвертой главе описан новый подход к порядку устройства и содержания кривых участков пути при котором проектное положение кривой фиксируется на основе ее паспортного положения с установлением возвышения наружного рельса по допустимым скоростям движения поездов.

В рамках исследовательской работы разработаны нормативные документы — новое Руководство по определению возвышения наружного рельса в кривых, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 20.12.2021 2897/р (далее – Руководство) 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, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 24.01.2022 № 131/р (далее – Инструкция). Эти документы — направлены на решение задачи оптимального содержания кривых и содержат ряд принципиальных отличий от ранее действовавших нормативных документов и, прежде всего, конкретизированную терминологию.

Сформирована двухуровневая система скоростей — порядок, при котором устанавливаются допустимые и допускаемые скорости движения.

Допустимая скорость движения железнодорожного подвижного состава — скорость, устанавливаемая с учетом технического состояния инфраструктуры железнодорожного транспорта, подвижного состава, не превышающая его конструкционную скорость. Допустимая скорость движения устанавливается на основе результатов тяговых расчетов.

Допускаемая скорость — определяется конструкционной скоростью подвижного состава, условиями прохождения кривых участков пути, при заданном непогашенном ускорении, показателями взаимодействия подвижного состава и пути.

Двухуровневая система скоростей направлена на ликвидацию избытка возвышения и его последствий в виде износов и роста показателей взаимодействия пути и подвижного состава.

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, узаконен отдельный порядок установления возвышения на линиях преимущественно грузового и пассажирского движения.

На линиях грузового движения категорий О и Г оптимальная величина возвышения определяется из условия движения грузовых поездов с допустимой скоростью при непогашенном ускорении 0 м/с^2 по формуле

$$h_{V_{\max}} = 12,5 \frac{V_{\text{допустимая}}^2}{R}, \quad (1)$$

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:

$$V = 3,6 \sqrt{R(a_{\text{нп}} + 0,00613h)}, \quad (2)$$

На линиях пассажирского движения категорий С и П возвышение

$$h_{V_{\max}} = 12,5 \frac{V_{\text{п допустимая}}^2}{R} - 100, \quad (3)$$

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

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

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 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

$$h_{V_{ip}} = 12,5 \frac{V_{ip}^2}{R} - 50, \quad (4)$$

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

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

Для участков скоростного движения величина возвышения должна определяться по допускаемым скоростям при $a_{нп} = 0,7 \text{ м/с}^2$ по формуле:

$$h_{V_{\max \text{ пacc}}} = 12,5 \frac{V_{\text{пacc}}^2}{R} - 115, \quad (6)$$

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 – величины возвышения могут корректироваться начальником службы пути по местным условиям в пределах 15%.

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.

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

Основная задача разработанной в рамках исследовательской работы Инструкции – остановить процесс превращения однорадиусных кривых в многорадиусные, как на стадиях проектирования, так и при эксплуатации. Инструкция разделяет понятия проектное положение пути в плане при проведении ремонтных работ и реконструкции, и предусматривает приведение натурального положения кривой в плане к проектному. В Инструкции отмечено, что отклонение фактического радиуса кривой от проектного в каждой ее точке не должно превышать величину, соответствующую нормативам 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 оценивается статистическими характеристиками стрел изгиба, в частности, коэффициентом вариации величин стрел, определяемым по формуле

$$C_v = \sigma_f / f , \quad (7)$$

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 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 первоочередной 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.

Разработанная по результатам исследовательской работы 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) — включена в Правила ремонта железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. (таблица 11.6). Разработанные документы регламентируют оценку параметров устройства и содержания пути по отклонениям от проектного положения точек кривой.

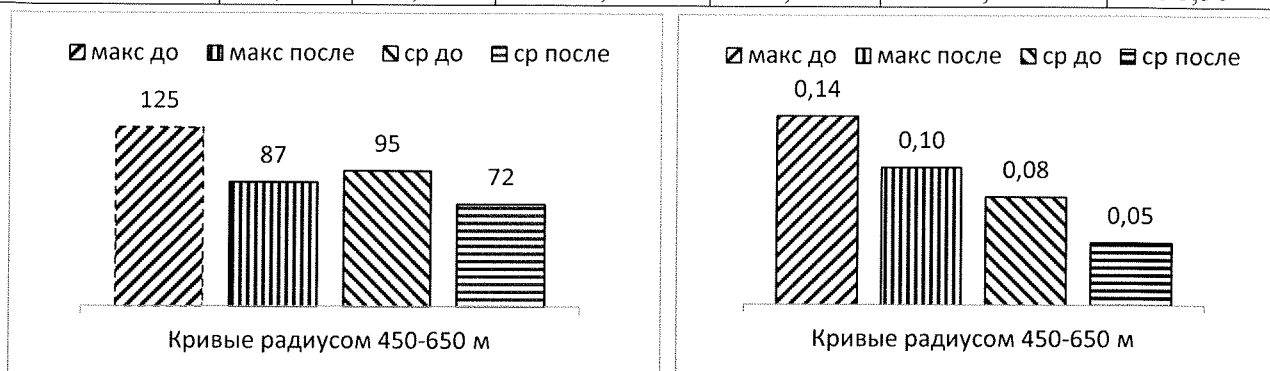
Эффективность полученных результатов исследовательской работы подтверждается фактическим снижением интенсивности бокового износа в кривых с переустроенным возвышением наружного рельса по средним значениям на 53-58%, по максимальным — на 31-35%. Анализ и расчет интенсивности бокового износа с учетом переустройства 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. Результаты расчетов приведены в таблицах 6 – 7.

Таблица 6 – Изменение величины возвышения (мм) в кривых

Радиус, м	Возвышение, мм					
	средние значения		% снижения	максимальные значения		% снижения
	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 7 – Изменение величины интенсивности бокового износа рельсов (мм/млн т) в кривых

Радиус, м	Интенсивность бокового износа, мм/млн. т брутто					
	средние значения		% снижения	максимальные значения		% снижения
	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

**Рисунок 12** – Изменение величины возвышения (мм) и интенсивности бокового износа в кривых до и после ремонта в диапазонах радиуса 450-650 м

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

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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**а) в рецензируемых научных изданиях:**

1 **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.

2 **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.

3 **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.

4 **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. Сластенин // Вестник ВНИИЖТ. – 2020. – № 6. – С. 365-372.

5 **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.

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

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

8 **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.

9 **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.

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

11 **Ваганова, О. Н.** Требования к рельсовым продуктам для удовлетворения текущих и перспективных потребностей ОАО «РЖД» / О. Н. Ваганова // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 9. – С. 6-8.

б) в других изданиях и материалах конференций

12 **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.

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

14 **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.

15 **Бурков, Д. Н.** Актуальные проблемы рельсового хозяйства / 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.

16 **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.

Ваганова Олеся Николаевна

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА И СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ В КРИВЫХ

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____ 2024 г.
Усл. печ. л. – 1,5

Заказ №

Формат 60x90/16
Тираж 80 экз.
