

ЕГОРОВ МАРКЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ
МЕРОПРИЯТИЯ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ГЕОМЕТРИИ
РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ НА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДАХ**

Специальность 05.22.06

Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре «Путь и путевое хозяйство» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» (МИИТ)

Научный руководитель: Ермаков Вячеслав Михайлович – доктор технических наук, главный инженер АО «Транспутьстрой»

Официальные оппоненты: Карпущенко Николай Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Путь и путевое хозяйство» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Титаренко Михаил Иванович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Стрелочное хозяйство» комплексного отделения «Путь и путевое хозяйство» АО «ВНИИЖТ»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

Защита состоится «14» ноября 2017 г. в 15:30 часов на заседании диссертационного ученого совета Д 218.010.02 на базе ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС) по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения д. 2, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГУПС по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения д. 2 и на сайте <http://www.rgups.ru>

Автореферат разослан «___»_____2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

П.Н.Щербак

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современные условия работы железнодорожного пути характеризуются постоянной интенсификацией внешних воздействий с одной стороны и необходимостью сокращения издержек с другой. Это предполагает увеличение веса поезда и повышение скоростей движения, которые вызывают дополнительные затраты на обеспечение работоспособности конструкций пути и их обслуживание. Это в полной мере относится и к стрелочным переводам, которые должны обеспечивать перевозочный процесс в различных условиях эксплуатации.

Стрелочные переводы являются наиболее дорогостоящими компонентами железнодорожного пути в части как капитальных затрат, так и текущего содержания. Удельные капитальные затраты на 1 м пути в пределах стрелочного перевода приблизительно в 4 раза превышают соответствующие затраты на обычном двухниточном пути, а в части текущего содержания – в 10 и более раз. Поэтому важно контролировать затраты на текущее содержание и внедрять в повсеместную практику комплексы инновационных технических решений, которые будут обеспечивать увеличение межремонтных периодов и минимизацию затрат в течение жизненного цикла.

Ключевым показателем безопасной и безотказной работы путевого хозяйства является обеспечение нормативного положения рельсовых нитей в плане и профиле. Опыт эксплуатации железнодорожного пути свидетельствует, что состояние геометрии рельсовой колеи (ГРК) на стрелочных переводах, как правило, существенно хуже, чем на обычном пути. Поэтому в целях повышения рентабельности путевого хозяйства с одновременным обеспечением безопасности движения поездов решение задач по повышению стабильности ГРК стрелочных переводов на протяжении всего межремонтного цикла в различных условиях эксплуатации является несомненно актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Большой вклад в исследование особенностей динамического взаимодействия стрелочных переводов с подвижным составом внесли ученые ВНИИЖТа, МИИТа, ЛИИЖТа, ДИИТа и других железнодорожных вузов: В.И. Абросимов, В.Г. Альбрехт, С.В.Амелин, Г.Е. Андреев, М.Ф.Вериги, Б.Э.Глюзберг, Э.И.Даниленко, Н.Н. Елсаков, Г.Г. Желнин, Г.В. Зоткин, Г.И. Иващенко, Л.Г. Крысанов, Н.Н. Путря, М.И. Титаренко, И.И. Семёнов, М.П.Смирнов, А.М. Тейтель, М.Ю. Хвостик, Г.М. Шахунянц, В.Ф. Яковлев и др.

Большинство исследований по вопросам стрелочных переводов посвящено способам их усовершенствования, повышения надежности их отдельных элементов и узлов, динамическим испытаниям, технологиям текущего содержания и ремонтов, повышения эксплуатационной стойкости.

Несмотря на весь накопленный опыт вопросы комплексного повышения стабильности ГРК на стрелочных переводах в современных условиях эксплуатации изучены пока недостаточно.

Цель работы - обоснование конструктивно-технологических и организационных мероприятий по повышению стабильности ГРК на стрелочных

переводах в зависимости от условий эксплуатации, для достижения которой необходимо решить следующие **задачи**:

1. Проведение анализа основных причин, влияющих на интенсивность накопления остаточных деформаций в вертикальной и горизонтальной плоскости, в т.ч. на темпы износов металлических частей стрелочных переводов.

2. Выполнение эксплуатационных исследований по оценке интенсивности расстройств ГРК, элементов креплений на стрелочных переводах.

3. Компьютерное моделирование динамического взаимодействия подвижного состава и стрелочного перевода с количественными оценками влияния различных параметров стрелочного перевода на уровень динамических сил и интенсивность расстройств ГРК.

4. Выполнение расчетов стоимости жизненного цикла стрелочных переводов в различных условиях эксплуатации, как критерия обоснования того или иного решения.

Научная новизна работы:

1. Получены эмпирические зависимости интенсивности расстройств ГРК и износов металлических частей стрелочных переводов в зависимости от пропущенного тоннажа и интенсивности движения на боковое направление, позволяющие анализировать и определять эффективность различных конструктивных решений на участках с высокой грузонапряженностью.

2. Впервые выполнен анализ среднеквадратических отклонений просадок, как наиболее объективного показателя уровня расстройств ГРК в вертикальной плоскости, на различных участках пути, характеризующихся принципиальными особенностями взаимодействия с подвижным составом: средние части плетей бесстыкового пути, уравнительные пролеты, подходы к мостам, стрелочные переводы. Получена количественная оценка интенсивности расстройств ГРК на этих участках.

3. В результате моделирования динамического взаимодействия стрелочного перевода с подвижным составом определены количественные параметры влияния:

- модуля упругости подрельсового основания;
- величин неровностей на поверхности катания;
- лубрикации;
- поперечной жесткости

на напряженно-деформированное состояние стрелочных переводов.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные по результатам динамического моделирования количественные оценки влияния параметров стрелочных переводов на уровень силового взаимодействия и, соответственно, на объемы затрат текущего содержания стрелочных переводов позволяют обоснованно реализовывать мероприятия по оптимизации рассмотренных параметров и снижению затрат.

Полученные эмпирическим путем и методами моделирования интенсивность расстройств ГРК и износов металлических частей в зависимости от пропущенного тоннажа и интенсивности движения на

ответвление с различными вариантами технических решений позволяют оптимизировать периодичность промеров, тем самым снизить формализм и повысить качество контроля.

Количественные оценки состояния стрелочных переводов, а также характерных участков бесстыкового пути в сочетании с анализом конструктивно-технологических, организационных решений и стоимости жизненного цикла могут быть применены при принятии решений по адресному усилению слабых мест в зоне стрелочных переводов как на участках обращения поездов с повышенной массой и длиной, так и на высокоскоростных линиях и дифференцированному подходу к определению конструкции стрелочных переводов в зависимости от условий эксплуатации. Результаты работы использованы в «Методике расчета стоимости жизненного цикла стрелочных переводов» (для опытного применения), утвержденной Управлением пути и сооружений ЦДИ ОАО «РЖД» 02.06.2017 г.

Методология и методы исследования. При выполнении диссертационной работы использованы методы планирования экспериментов, статистической обработки первичной информации, полученной прямыми измерениями. Выполнен статистический анализ файлов контрольных проходов вагонов путеизмерителей с помощью программного комплекса StabWay. Проведено компьютерное моделирование динамического взаимодействия подвижного состава и стрелочных переводов с использованием программных комплексов «Универсальный механизм» и «Шпала 25 сечений».

Положения, выносимые на защиту:

1. Количественная оценка интенсивности расстройств ГРК и износов металлических частей стрелочных переводов в зависимости от пропущенного тоннажа и интенсивности движения на боковое направление при скреплениях типа КБ и Vossloh с оценкой доли влияния износа рельса и элементов скреплений на уширение колеи. Периодичность промеров стрелочных переводов в зависимости от условий эксплуатации.

2. Дифференцированный анализ среднеквадратических отклонений просадок и положительных приращений среднеквадратических отклонений просадок на различных участках пути, характеризующихся принципиальными особенностями взаимодействия с подвижным составом. Количественная оценка интенсивности расстройств ГРК на этих участках.

3. Количественные параметры влияния модуля упругости подрельсового основания, величин неровностей на поверхности катания, смазки, поперечной жесткости на напряженно-деформированное состояние стрелочных переводов.

4. Результаты определения интенсивности накопления остаточных деформаций подшпального основания при различных упруго-деформативных характеристиках стрелочных переводов, неровностей на поверхности катания рельсов.

5. Результаты расчета стоимости жизненного цикла с различными вариантами совершенствования конструкции и обоснование эффективных сфер их применения в различных условиях эксплуатации.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность результатов и научных положений обосновывается большим объемом экспериментальных исследований и статистического анализа, корректным выбором методик, подтверждена результатами эксплуатационных наблюдений предложенных конструктивно-технологических и организационных решений на участках Московской, Октябрьской, Горьковской, Приволжской, Северной дирекций инфраструктуры.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Путь и путевое хозяйство» МИИТа (2013-2016 гг.); на II Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в развитии строительства, машин и механизмов для строительства и коммунального хозяйства, текущего содержания и ремонта железнодорожного пути» в 2014 г. в г. Смоленск.; на III Международной научно-практической конференции «Путь XXI века», посвященной 205-летию создания Института Корпуса инженеров путей сообщения в 2015 г.; на заседании секции «Путевое хозяйство» Научно-технического совета ОАО «РЖД» по вопросу «Модернизация и совершенствование стрелочных переводов с учетом развития тяжеловесного и высокоскоростного движения» в 2016 г.; на XIII научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», посвященной памяти профессора Г.М. Шахунянца в 2016 г.; на заседании Научно-технического совета ОАО «РЖД» по вопросу «О сферах применения стрелочных переводов» в 2017 г.

Публикации. Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 8 научных работах общим объемом 3,7 п.л. (авторских – 2,6 п.л.), в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников. Объем диссертации – 177 страниц машинописного текста, включая 70 рисунков, 56 таблиц, а также пять приложений на 73 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, показана научная новизна и практическая значимость работы, сформулирована цель исследования.

В первой главе выполнен анализ особенностей конструкции стрелочных переводов по сравнению с традиционным путем, существующего порядка оценки ГРК и других нормируемых параметров, а также обзор факторов, влияющих на расстройство ГРК и неисправностей стрелочных переводов.

В течение последнего времени в целях повышения надежности и эксплуатационной стойкости стрелочных переводов разработаны некоторые инновационные технические решения. Однако почти все они остаются в разряде опытных образцов и не нашли широкого применения. Основной

причиной этого является стремление минимизировать первоначальные затраты. В целях повышения эффективности стрелочного хозяйства необходимо принимать обоснованные решения по применению тех или иных инновационных технических решений по повышению эксплуатационной надежности стрелочных переводов по критерию минимизации совокупных затрат на их укладку, промежуточные ремонты и текущее содержание, отнесенных к одному году в течение жизненного цикла конструкции.

Также не проведена работа по оценке стоимости текущего содержания в части затрат на обновление и восстановление функций скреплений, их значимости в стоимости жизненного цикла и дифференцированности требований в зависимости от условий эксплуатации. Вопросы сварки рельсовых стыков на участках тяжеловесного движения, а также снижения модуля упругости подстрелочного основания и его выравнивания по длине стрелочного перевода требуют обоснованного заключения.

На основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе изложены результаты исследования причин интенсивного расстройств ГРК на стрелочных переводах с выявлением наиболее «слабых мест». Для этого были отобрано 28 стрелочных переводов в Московской дирекции инфраструктуры, эксплуатирующихся с различной грузонапряженностью по прямому и боковому направлению, на которых проводились ежемесячные инструментальные измерения для оценки интенсивности расстройств ГРК и других контролируемых параметров, состояния конструктивных узлов перевода, включая металлические части, скрепления, подрельсовое и подшпальное основание по мере наработки тоннажа.

Постановка экспериментальной части основана на теории планирования эксперимента и научной гипотезе – существовании зависимости между условиями эксплуатации и параметрами ГРК в слабых зонах перевода. Результаты измерений обрабатывались методами математической статистики – дисперсионным и корреляционным анализами в целях изучения влияния фактора пропущенного тоннажа на параметры ГРК.

В результате ежемесячных обмеров указанных стрелочных переводов контролируемые параметры были разделены на две группы: значимо и не значимо зависящие от объемов движения на боковое направление (таблица 1).

Было установлено, что чем больше объем движения на боковое направление, тем больше средняя ширина колеи в процессе эксплуатации и величина боковых износов рамных рельсов с остриями, а также рельсов.

Проанализировав результаты выполненных работ по регулировке ширины колеи в сечениях ее наименьшей стабильности, замене амортизационных прокладок, укладке регулировочных прокладок и замене металлических частей по автоматизированной системе ведения актов комиссионного месячного осмотра, книге учета стрелочных переводов и экранам бокового износа металлических частей на отобранных стрелочных переводах в течение трех лет, а также с использованием ежемесячных натурных измерений были получены

функциональные зависимости интенсивности расстроя ширины колеи и износа металлических частей переводов (пример – рисунок 1).

Таблица 1 – Интенсивно расстраиваемые параметры стрелочного перевода в зависимости от грузонапряженности на ответвление

Значимо зависящие от объемов движения на ответвление
1.Ширина колеи в переднем стыке рамного рельса;
2.Ширина колеи в острие острьяков;
3.Ширина колеи в конце строжки острьяков;
4.Ширина колеи с корне острьяков;
5.Ширина колеи в середине переводной кривой;
6.Ширина колеи в конце переводной кривой;
7.Отступления в переводной кривой по ординатам;
8.Неравномерный боковой износ рельсов переводной кривой;
9.Ширина колеи в переднем вылете крестовины по ответвлению;
10.Ширина колеи в заднем вылете крестовины по ответвлению;
11.Желоб в контррельсе напротив сечения сердечника 40 мм при езде на ответвление.

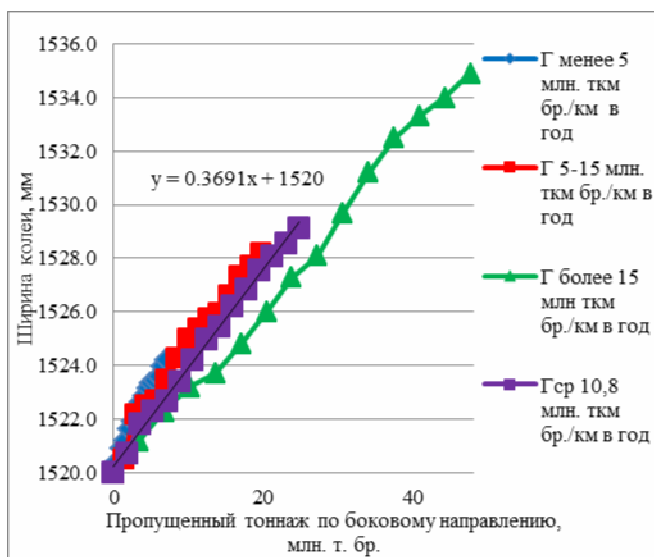


Рисунок 1 – Интенсивность уширения колеи в стыке рамного рельса

Обобщив данные по промерам контролируемых параметров можно сказать, что на отдельных клеммно-болтовых скреплениях (КБ) интенсивность уширения колеи в слабых зонах стрелочных переводов составляет в среднем от 3 до 7 мм/10 млн. т бр. на ответвление. В целом, интенсивность уширения колеи по боковому направлению (в приведении к пропущенному тоннажу) близка для всех стрелочных переводов и мало зависит от соотношения грузонапряженности.

Благодаря полученным результатам, появилась возможность прогнозировать интенсивность расстроя контролируемых параметров на стрелочных переводах, и, в зависимости от грузонапряженности на ответвление, оптимизировать периодичность ручных промеров, регламентированную «Инструкцией по текущему содержанию железнодорожного пути» 2288 р., и не предусматривающей учет этого ключевого фактора. Целесообразней сосредоточить качественный осмотр и промеры на 11 контролируемых параметрах (таблица 1), которые прогнозируемо имеют повышенную интенсивность расстроя.

В таблице 2 приведено рекомендуемое количество промеров стрелочных переводов в год в зависимости от грузонапряженности на ответвление, которые получены из условия развития неисправности согласно нормам и допускам на их содержание и вторичного контроля за качеством устранения.

Таблица 2 – Периодичность осмотров и проверок стрелочных переводов

Общая грузонапряженность по стрелочному переводу, млн т бр											
26-50				51-80				Более 81			
Грузонапряженность по ответвлению, млн т бр											
<5	6-10	11-20	>21	<10	11-20	21-40	>40	<15	16-30	31-50	>50
2	4	8	12	6	10	16	18	8	16	24	28

Оптимизацией сроков по осмотрам и промерам контролируемых параметров на стрелочных переводах можно существенно повысить эффективность работы должностных лиц, перепланировав их работу по осмотрам и контролю на других «нестабильных» участках пути, повысить достоверность данных, оперативность устранения выявленных замечаний и снизить риски развития отказных и предотказных состояний рельсовой колеи на стрелочных переводах.

Для оценки влияния износа рельсовых элементов и креплений на ширину колеи были произведены инструментальные измерения каждого параметра. В таблице 3 приведено процентное соотношение влияния бокового износа металлических частей стрелочных переводов (рельс, остряк) и элементов креплений в уширении колеи в "слабых местах" стрелочных переводов при различной наработке тоннажа.

В большей степени уширение колеи происходит за счет износа элементов крепления, что составляет 60%-76% в зависимости от условий эксплуатации.

Таблица 3 – Доля влияния износа элементов креплений и металлических частей на уширение колеи

№ п/п	Слабое место	Доля уширения колеи, % при пропущенном тоннаже на ответвление, млн. т бр.					
		Износа рельсового элемента			Состояния креплений		
		22	38	92	22	38	92
1	Стык рамного рельса	27	39	51	73	61	49
2	Острые остряков	41	53	72	59	47	28
3	Корень остряка по ответвлению	25	33	40	75	67	60
4	Середина переводной кривой	14	15	20	86	85	80
5	В конце переводной кривой	11	14	18	89	86	82
6	Среднее значение для п.1-5	24	31	40	76	69	60

Анализ на вновь уложенных переводах показал, что и на них не обеспечивается стабильное положение рельсовых нитей по шаблону. Наблюдались люфты между ребрами прокладок и подошвой рельсов. После периода приработки креплений начинает развиваться боковой износ рельсов и остряков с одновременным уширением колеи за счет элементов креплений. С увеличением пропущенного тоннажа (около 30-50 млн. т. бр.) развивались отказы нащпальных прокладок, интенсивность уширения колеи резко

возрастала. Затем уширение колеи развивалось уже в большей степени за счет бокового износа рельсовых элементов.

Для анализа стабильности ГРК использовалась статистическая характеристика – среднеквадратическое отклонение величин просадок (СКО), как наиболее достоверная и дифференцированная оценка фактического состояния участка пути в вертикальной плоскости. Использовался программный комплекс StabWay на опытных участках Московской, Северной и Горьковской железных дорог, расположенных в сопоставимых климатических условиях и с грузонапряженностью порядка 100 млн. т км бр./км в год. Отобранные участки подразделялись по пропущенному тоннажу, виду скрепления (КБ и АРС) и наличию или отсутствию геотекстиля в качестве разделительного слоя. Стрелочные переводы классифицировались по проекту, конструктивным решениям и наработке тоннажа.

На рисунке 2 приведены значения СКО просадок в средних частях плетей, уравнительных пролетах, подходах к мостам и стрелочных переводах, который подтверждает повышенную динамику воздействия подвижного состава в пределах стрелочных переводов и обосновывает актуальность разработки и реализации технических решений, обеспечивающих оптимизацию параметров взаимодействия.



Рисунок 2 – Среднегодовые СКО просадок в различных зонах пути

В результате анализа получили устойчивый рост СКО просадок по мере наработки тоннажа, снижение интенсивности расстройств при применении скрепления АРС, геотекстиля и значимом влиянии водонасыщения на состояние ГРК.

В третьей главе представлены результаты моделирования динамического взаимодействия стрелочных переводов с подвижным составом и развития деградационных процессов. Исследования проводились в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Базовыми направлениями в части оптимизации параметров взаимодействия в вертикальной плоскости является устранение или уменьшение величин неровностей на поверхности катания рельсовых элементов, а также снижение неравножесткости подрельсового основания по длине стрелочных переводов в рамках уменьшения общего уровня его жесткости, которые на сегодняшний день реализованы следующими техническими решениями:

- сварка рельсовых стыков в пределах стрелочных переводов;
- шлифовка поверхности катания рельсовых элементов;
- укладка упругих прокладок на нижнюю поверхность железобетонных брусьев.

В горизонтальной плоскости проблемными вопросами являются уширение рельсовой колеи и боковой износ рельсовых элементов, в особенности при интенсивном движении на боковое направление стрелочных переводов.

В этих условиях направлениями оптимизации условий взаимодействия подвижного состава и стрелочных переводов в горизонтальной плоскости является уменьшение величин горизонтальных динамических неровностей, минимизация расстройств в узлах креплений, снижение коэффициента трения на контакте гребня колеса и рельса. К техническим и технологическим решениям в этой области относятся:

- использование креплений, обеспечивающих высокую стабильность ширины колеи. В части стрелочных переводов в ОАО «РЖД» имеется опыт применения крепления типа W30NH Vossloh;
- лубрикация рельсов.

Моделирование условий взаимодействия стрелочных переводов и подвижного состава проводилось с использованием ПК «Универсальный механизм». В вертикальной плоскости исследовалось влияние сварки рельсовых стыков, шлифовки поверхности катания рельсовых элементов и модуля упругости подстрелочного основания, регулировать которой возможно укладкой подшпальных прокладок переменной жесткости. Итоги моделирования свидетельствуют о значимом влиянии этих факторов на уровень сил динамического взаимодействия (рисунок 3).

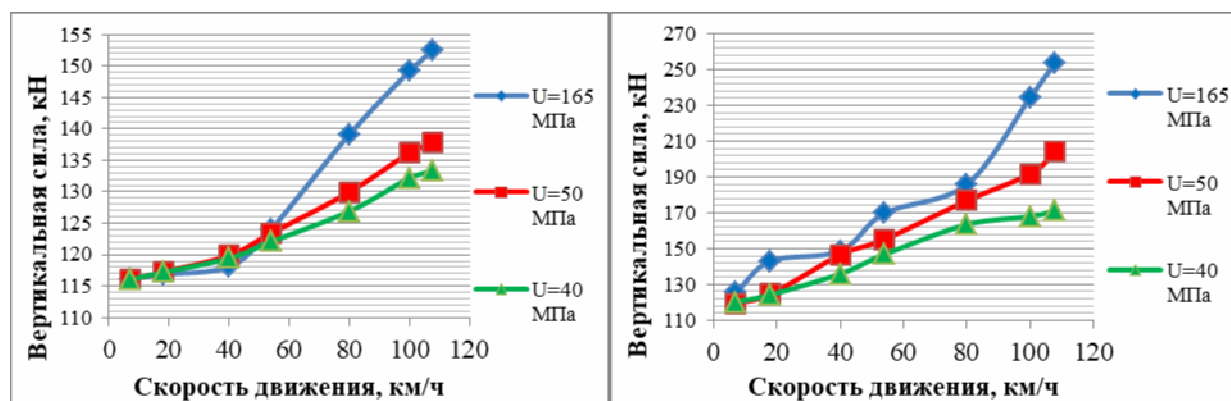


Рисунок 3 – Зависимость вертикальных сил в сварном (а) и в рельсовом стыке с просадкой 11 мм (б) от скорости движения при различном модуле упругости стыка

Следующим этапом моделирования являлось прогнозирование развития просадки до уровня 2-й степени в зависимости от конструкционных решений: рельсовый стык, сварной стык, шлифовка рельсовых элементов, подшпальные прокладки и различные их сочетания. Методика основана на циклических расчетах с помощью ПК «Универсальный механизм» и «Шпала 25 сечений».

На рисунке 4 представлена интенсивность развития просадок при различных вариантах конструктивных решений.

При моделировании условий взаимодействия в горизонтальной плоскости определялись углы набегания гребней колес по длине перевода, поперечные отжатия рельсовых нитей и горизонтальные поперечные силы при движении в противошерстном и пошерстном направлениях на стрелочных переводах со скреплением КБ и Vossloh, имеющих отступления в плане и без них, с лубрикацией (коэффициент трения $k=0,12$) и без нее ($k=0,25$).

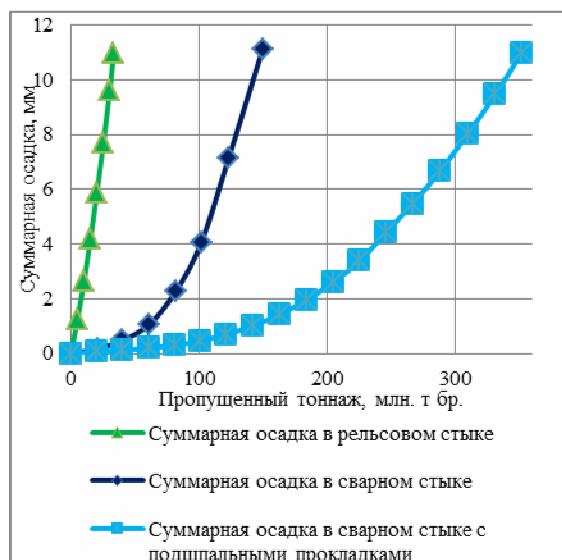


Рисунок 4 – Интенсивность развития просадок при различных конструктивных решениях

Для формирования исходных данных для моделирования значения поперечной жесткости рельсовых нитей на стрелочных переводах со скреплениями КБ и Vossloh были определены экспериментально по всей длине переводов в каждом характерном сечении. По результатам эксперимента получили, что значение поперечной жесткости на переводе со скреплением Vossloh в 1,7-2,2 раза выше.

По итогам моделирования получено, что и углы набегания, и отжатия рельсовых нитей, и поперечные силы имеют существенный разброс по величинам по длине стрелочных переводов (рисунок 5).

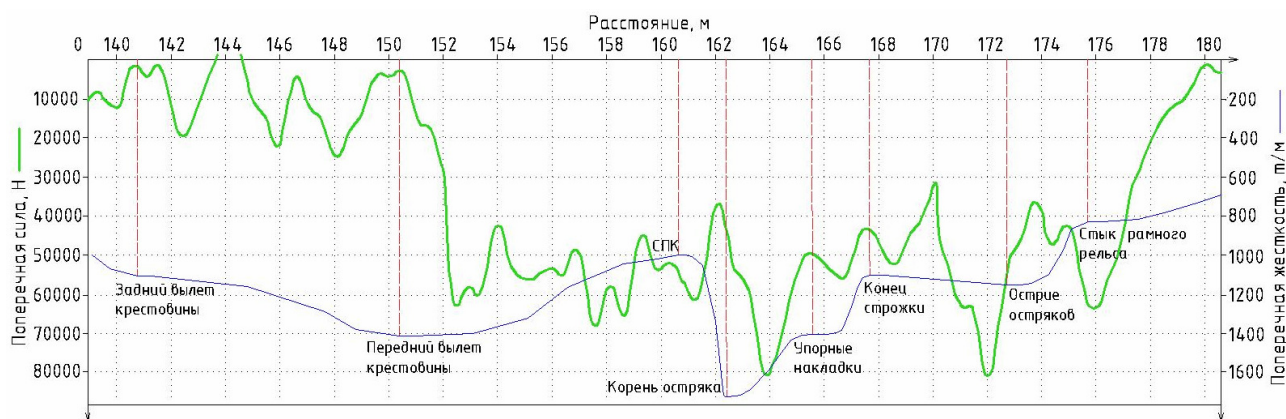


Рисунок 5 – Величины поперечных сил при пошерстном движении по стрелочному переводу со скреплением КБ с отступлениями в плане без лубрикации

В таблице 4 приведены значения поперечных сил в зоне остря остряков и середине переводной кривой (СПК) при противошерстном движении

Таблица 4 – Значения поперечных сил при противошерстном движении, Н

Характерное сечение	Без отступлений в плане				С отступлениями в плане			
	КБ		Vossloh		КБ		Vossloh	
	Без лубрикации	С лубрикацией	Без лубрикации	С лубрикацией	Без лубрикации	С лубрикацией	Без лубрикации	С лубрикацией
Острие остряков	75 650	61 480	78 600	62 850	84 900	67 800	88 150	71 200
СПК	45 360	30 000	48 100	32 740	48 150	36 250	52 260	39 400

По результатам моделирования в горизонтальной плоскости были сформулированы следующие выводы:

1. Наибольшее горизонтальное воздействие на стрелочных переводах реализуется в зоне острия остряков и переднего вылета рамных рельсов при пошерстном движении.

2. На стрелочных переводах со скреплением Vossloh упругие отжатия рельса в 1,5-2,0 раза меньше, чем при скреплении КБ, что обеспечивает большую стабильность рельсовой колеи, однако несколько повышает боковые силы.

3. Лубрикация боковых поверхностей рельсовых элементов снижает горизонтальные силы в 1,2-1,3 раза, отступления в плане их повышают до 1,12 раза.

В четвертой главе рассмотрены результаты эксплуатации отдельных решений повышения стабильности ГРК на стрелочных переводах:

- сварки рельсовых стыков в пределах стрелочных переводах;
- шлифовки поверхности катания рельсовых элементов;
- укладки упругих прокладок на нижнюю поверхность железобетонных брусьев;
- повышения жесткости и несущей способности подбалластного основания;
- укладки стрелочных переводов в проектное положение с минимальными неровностями рельсовых нитей в плане;
- использования скреплений типа W30NH Vossloh, обеспечивающих высокую стабильность ширины колеи;
- лубрикации рельсов;

На рисунке 6 приведены СКО просадок на стрелочных переводах со сварными и рельсовыми стыками, а также с подшпальными прокладками, свидетельствующие об эффективности данных технических решений.

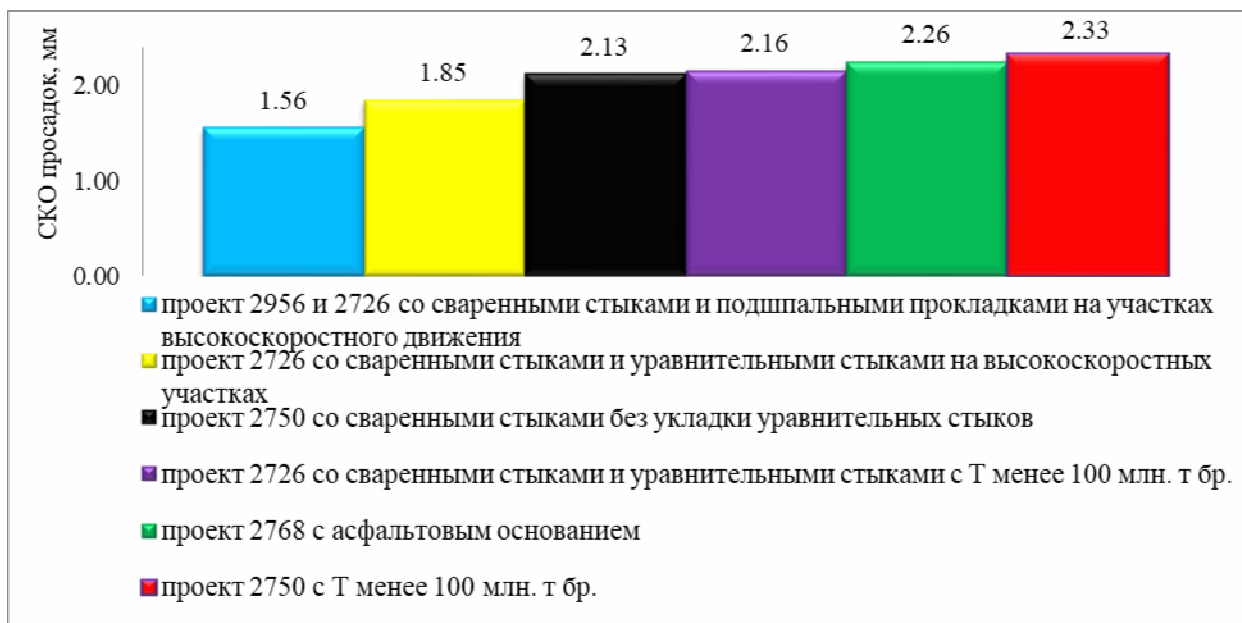


Рисунок 6 – Среднегодовые СКО просадок для переводов с различным конструктивно-технологическим решением

На основе результатов исследования увеличения несущей способности и жесткости подбалластного основания (применение асфальта на ст. Таганрог и Батайск), сварки рельсовых стыков, шлифовки поверхности катания рельсовых элементов, снижения модуля упругости подстрелочного основания и его выравнивания по длине стрелочного перевода были получены положительные результаты в части снижения интенсивности накопления остаточных деформаций, увеличения срока службы и сокращения затрат на текущее содержание. На участках тяжеловесного движения эффективна сварка рельсовых стыков и периодическая шлифовка поверхности катания – в 1,1-1,12 раза снижаются СКО просадок и в 2 раза их положительные приращения. На участках высокоскоростного движения эффективны подшпальные прокладки по всей длине перевода со сваркой рельсовых стыков с формированием защитного слоя – данное решение позволяет в 1,07-1,16 раза снизить значения СКО просадок и выровнять упругие деформации по длине перевода. В целях значительного снижения деформативности и повышения прочности подбалластного основания применима конструкция стрелочного перевода с асфальтовым покрытием, которое позволяет в 1,5 раза снизить СКО просадок. Для всех условий эксплуатации укладка стрелочных переводов должна осуществляться с постановкой в проектное положение в высокоточной координатной системе. Инновационное решение во-первых позволяет снизить динамическое воздействие в плане, исключив неравномерный износ рельсовых элементов, креплений, увеличить срок службы всех элементов стрелочного перевода, и, во-вторых, динамическое воздействие на подстрелочное основание.

Для верификации результатов моделирования проведены эксплуатационные наблюдения на стрелочных переводах со креплениями Vossloh и КБ, уложенных на ст. Орехово Московской дирекции

инфраструктуры с интенсивным движением на боковое направление. По результатам инструментальных измерений на переводе с Vossloh было выявлено снижение интенсивности уширения колеи в 3 раза благодаря большей стабильности креплений при росте интенсивности износа металлических частей в 1,4 раза из-за большей поперечной жесткости рельсовых нитей в сравнении с переводом со креплением типа КБ.

В пятой главе приводятся результаты оценки технико-экономической эффективности предлагаемых конструктивно-технологических решений на основе определения суммарных затрат на протяжении жизненного цикла стрелочных переводов.

По результатам проведенных исследований определены прогнозные нормативные сроки службы стрелочных переводов (таблица 5), с учетом которых проведен расчет стоимости жизненного цикла в зависимости от вариантов технических решений.

Таблица 5 – Прогнозируемый нормативный срок службы стрелочного перевода в зависимости от конструктивно-технологического решения

№ п/п	Конструктивно-технологический вариант стрелочного перевода	Нормативный срок службы, млн. т брутто
1	P65, 1/11, проект 2750 со креплением КБ	300
2	С упругой клеммой Vossloh	350
3	Сваренные стыки без шлифовки	350
4	Сваренные стыки и шлифовка	420
5	Сваренные стыки, прокладки и шлифовка	480

Затраты на укладку стрелочных переводов в рамках реконструкции (модернизации) пути, планово-предупредительные ремонты (ППР), сварку рельсов, шлифовку рельсошлифовальным поездом РР-16, установку лубрикаторов были получены из отчетных данных ОАО «РЖД». Основные виды работ на текущее содержание определялись на основе моделирования и эксплуатационных наблюдений на контрольных стрелочных переводах с их корректировкой по результатам отчетных данных Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ).

Рассмотрено 4 варианта сочетания условий эксплуатации: среднесетевая (35) и высокая – 70 млн т км бр./км в год грузонапряженность, доля грузопотока на боковое направление – до 25 и более 25%.

В таблице 6 представлен расчет суммарных затрат за жизненный цикл (числитель), отдельно на текущее содержание (знаменатель), в скобках – среднегодовые значения суммарных затрат для стрелочных переводах с различными конструктивно-технологическими решениями в тыс. руб. при использовании лубрикаторов (один лубризатор на 10 стрелочных переводах).

Для оценки экономической эффективности вложения средств использован метод чистой приведенной стоимости, приведенный на рисунке 7 (Net Present Value, NPV).

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

где r – норма дисконта; n – число периодов реализации проекта; CF_t – свободный денежный поток от операций проекта в периоде t .

Таблица 6 – Суммарные затраты за жизненный цикл (числитель) и только на текущее содержание (знаменатель, в скобках – среднегодовые значения) для стрелочных переводов с различными конструктивно-технологическими решениями, тыс. руб.

Вариант конструктивного решения		Среднесетевая грузонапряженность 35 млн. т. бр.		Высокая грузонапряженность 70 млн. т. бр.	
		Соотношение поездопотока по ответвлению, %			
		До 25	Свыше 25	До 25	Свыше 25
Базовый вариант		<u>5339</u>	<u>6428</u>	<u>4446</u>	<u>5375</u>
		3247 (621)	4336 (747)	2354 (1034)	3283 (1250)
С упругой клеммой Vossloh		<u>4781</u>	<u>6101</u>	<u>4206</u>	<u>5174</u>
		2649 (478)	3969 (610)	2074 (841)	3042 (1035)
Сваренные стыки без шлифовки	КБ	<u>5027</u>	<u>5621</u>	<u>4240</u>	<u>4645</u>
		2845 (503)	3379 (562)	1998 (848)	2403 (929)
	V	<u>4508</u>	<u>5172</u>	<u>4040</u>	<u>4484</u>
		2226 (451)	2890 (517)	1758 (808)	2202 (897)
Сваренные стыки и шлифовка	КБ	<u>5242</u>	<u>5914</u>	<u>4313</u>	<u>4805</u>
		3000 (437)	3672 (492)	2071 (719)	2563 (801)
	V	<u>4492</u>	<u>5218</u>	<u>4059</u>	<u>4573</u>
		2250 (374)	2936 (434)	1777 (677)	2291 (762)
Сваренные стыки, прокладки и шлифовка	КБ	<u>5456</u>	<u>6269</u>	<u>4545</u>	<u>5125</u>
		2716 (398)	3529 (458)	1805 (659)	2385 (743)
	V	<u>4647</u>	<u>5522</u>	<u>4254</u>	<u>4870</u>
		1867 (339)	2742 (403)	1474 (617)	2090 (706)

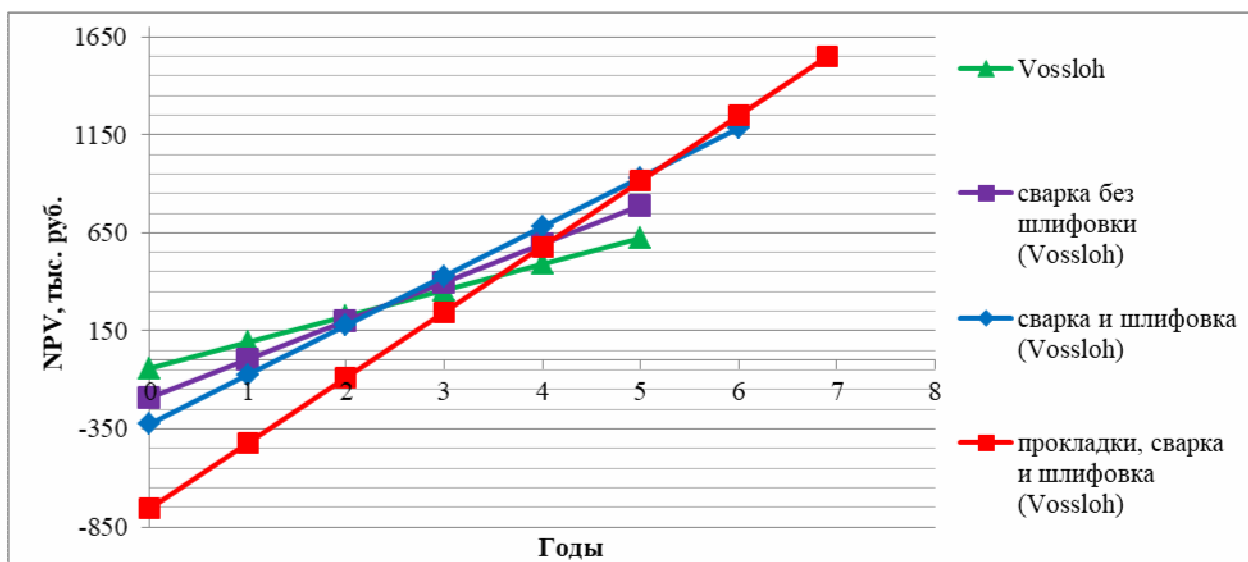


Рисунок 7 – Дисконтированный срок окупаемости предложенных конструктивно-технологических решений

Из рисунка 7 следует, что затраты на все предложенные конструктивно-технологические решения для указанных условий эксплуатации окупаются и обеспечивают получение добавочной стоимости. Наиболее рентабельным вариантом является применение упругих рельсовых скреплений типа Vossloh в

сочетании со сваркой рельсовых стыков, шлифовкой и укладкой подшпальных амортизационных прокладок и лубрикацией.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Массово применяемые скрепления типа КБ на стрелочных переводах в современных условиях эксплуатации не удовлетворяют требованиям перевозочного процесса, в первую очередь по причине расстройств ширины колеи и увеличения затрат на текущее содержание.

2. Интенсивность уширения колеи на стрелочных переводах со скреплением КБ составляет 3-7 мм/10 млн. т бр., износ рамных рельсов, остяков и рельсов 2,5, 1,2 и 0,87 мм/10 млн. т бр. соответственно. Доля влияния на уширение колеи при этом элементов скреплений составляет от 60% до 76% в зависимости от условий эксплуатации.

3. Сочетанием объективных автоматизированных средств контроля и анализа результатов измерений (электронные шаблоны с мобильным рабочим местом) с оптимизацией сроков по промерам контролируемых параметров на стрелочных переводах можно существенно повысить эффективность деятельности бригадиров пути и дорожных мастеров, автоматизировав ряд производственных процессов и перепланировав их рабочее время с излишних осмотров и измерений на другие виды работ.

4. Дифференцированный анализ СКО просадок на различных участках показывает, что максимальное динамическое взаимодействие реализуется на стрелочных переводах, уравнильных пролетах и подходах к искусственным сооружениям, где значения СКО просадок в 2-2,7 раза и интенсивность накопления остаточных деформаций в 3,5-5 раза выше в сравнении со средними частями плетей. Применение упругих рельсовых скреплений снижает СКО просадок в 1,1 раза, а геотекстиля – в 1,08 раза.

5. Динамическое моделирование взаимодействия стрелочных переводов с подвижным составом с различными типами скреплений и состоянием в плане позволило определить:

- наибольшее горизонтальное воздействие на стрелочных переводах реализуется в зоне острия остяков и переднего вылета рамных рельсов при пошерстном движении;

- на стрелочных переводах со скреплением Vossloh упругие отжатия рельса в 1,5-2,0 раза меньше, чем при скреплении КБ, что обеспечивает большую стабильность рельсовой колеи, однако несколько повышает боковые силы;

- лубрикация боковых поверхностей рельсовых элементов снижает горизонтальные силы в 1,2-1,3 раза, в то время как отступления в плане их повышают до 1,12 раза.

6. Основными направлениями в части оптимизации параметров взаимодействия в вертикальной плоскости являются устранение или уменьшение величин неровностей на поверхности катания рельсовых элементов, а также снижение неравножесткости подрельсового основания по длине стрелочных переводов в рамках уменьшения общего уровня его

жесткости, которые на сегодняшний день реализованы следующими техническими решениями:

- сварка рельсовых стыков в пределах стрелочных переводов;
- шлифовка поверхности катания рельсовых элементов;
- укладка упругих прокладок на нижнюю поверхность железобетонных брусьев.

7. Сварка рельсовых стыков позволяет 1,7-2,2 раза снизить значения динамических сил на поверхности катания рельсов, а в сочетании со шлифовкой – еще в 1,15 раза, что позволяет в 5-6 раз снизить периодичность выправочных работ, увеличить нормативный срок службы стрелочных переводов на 40%. Снижение модуля упругости в сочетании со сваркой и шлифовкой позволяет на 60% увеличить нормативный срок службы стрелочных переводов и до 10 раз снизить периодичность выправочных работ.

8. Основными направлениями оптимизации условий взаимодействия подвижного состава и стрелочных переводов в горизонтальной плоскости является уменьшение величин горизонтальных динамических неровностей, минимизация расстройств в узлах скреплений, снижение коэффициента трения на контакте гребня колеса и рельса. К техническим и технологическим решениям в этой области относятся:

- укладка стрелочных переводов в проектное положение с минимальными неровностями рельсовых нитей в плане;
- использование скреплений, обеспечивающих высокую стабильность ширины колеи;
- лубрикация рельсов.

9. Внедрение стрелочных переводов со скреплением Vossloh обеспечивает снижение интенсивности уширения колеи в 3 раза, затрат на обслуживание скреплений в 1,2-1,3 раза при росте интенсивности износа металлических частей в 1,4 раза из-за большей поперечной жесткости рельсовых нитей.

10. Рассмотренные в диссертационной работе решения обеспечивают экономию расходов 0,6-3,4 млн. руб. за жизненный цикл стрелочных переводов, из которых на лубрикацию приходится в среднем около 0,3 млн. руб., на скрепления Vossloh 0,7 млн. руб., сварку стыков 0,45 млн. руб., шлифовку 0,5 млн. руб. и применение подшпальных прокладок 0,45 млн. руб. Срок окупаемости предложенных конструктивно-технологических решений составляет 0,5-2,5 года.

Рекомендации и перспективы дальнейших исследований

Следующим этапом исследований в части повышения стабильности ГРК, снижения затрат на текущее содержание и увеличения нормативного срока службы стрелочных переводов является возможность применения различных конструкций безбалластного основания и крестовин с непрерывной поверхностью катания на участках тяжеловесного движения, эксплуатационные наблюдения конструкции и его экономическое обоснование на основе расчета стоимости жизненного цикла.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК:

1. Егоров, М.А. Интенсивность расстроя рельсовой колеи в вертикальной плоскости на различных участках бесстыкового пути / В.М. Ермаков, М.А. Егоров М.А. // Путь и путевое хозяйство. 2015. – № 9. С. 25-28.

2. Егоров, М.А. Результаты динамического моделирования взаимодействия стрелочного перевода с подвижным составом / В.М. Ермаков, М.А. Егоров // Железнодорожный транспорт. – 2016. – №9. С. 64-66.

3. Егоров, М.А. Об оптимизации системы контроля параметров стрелочных переводов /М.А. Егоров, В.М. Ермаков, Е.В. Ермаков, Т.В. Суворова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – №4. – С. 98-105.

Публикации в других изданиях:

4. Егоров, М.А. Оценка влияния отступлений в горизонтальной плоскости на силы взаимодействия пути и экипажа в вертикальной плоскости на стрелочных переводах // Инновационные технологии в развитии строительства, машин и механизмов для строительства и коммунального хозяйства, текущего содержания и ремонта железнодорожного пути: Материалы II международной науч.-техн. конф. г. Смоленск 11.04.2014. – Смоленск: ФГБОУ ВО МГУПС (МИИТ) – Смоленский филиал, 2014. – Т.1. – С. 231-236.

5. Егоров, М.А. Анализ влияния износа рельсов и элементов креплений на уширение колеи в слабых местах на стрелочном переводе // Путь XXI века: Труды III Международной научно.-практической конференции г. Санкт-Петербург, 20.02.2015. – СПб: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2015. – С. 139-144.

6. Егоров, М.А. Интенсивность расстроя стрелочных переводов в горизонтальной плоскости при различной грузонапряженности и типах креплений / М.А. Егоров, В.М. Ермаков // Труды XIII Международной научно-технической конференции: Чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца. 31 марта – 1 апреля 2016 г. – М.: ФГБОУ ВО МГУПС (МИИТ) – 2016. – С. 163-165.

7. Егоров, М.А. Основные подходы к определению стоимости жизненного цикла стрелочных переводов / М.А. Егоров / Сб. науч. тр. РГУПС. – Ростов н/Д: ФГБОУ ВО РГУПС. – 2016. – Вып.3(36). – С. 46-51.

8. Егоров, М.А. Обоснование применения инновационных технических решений на стрелочных переводах / М.А. Егоров, В.М. Ермаков // Путь и путевое хозяйство. □ 2017. – №1. □ С. 10-14.

ЕГОРОВ МАРКЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ
МЕРОПРИЯТИЯ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ГЕОМЕТРИИ
РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ НА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДАХ

Специальность 05.22.06 – Железнодорожный путь, изыскание и
проектирование железных дорог

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 28.08.2017 г. Формат 60x84/16
Печать офсетная. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л.1,5
Тираж 100 экз. Заказ №_____

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС
Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д,
пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д.2