

Отзыв

официального оппонента, д.т.н., профессора Шура Е.А. на диссертационную работу Краснова Олега Геннадьевича «Прогнозирование износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог

1 Актуальность избранной темы

В настоящее время основными целевыми показателями развития РЖД предусматривается увеличение межремонтного срока между капитальными ремонтами пути до 2000...2500 млн т брутто пропущенного тоннажа. В соответствии с предложенными схемами ремонтов и технического обслуживания пути должны быть созданы рельсы с ресурсом не ниже 1500 млн. т. брутто по пропущенному тоннажу, что позволит проводить замену рельсов один раз до капитального ремонта. Для повышения ресурса рельсов в 2012–2013 гг. проведена реконструкция технологических линий на АО «ЕВРАЗ ЗСМК», строительство нового производства на ПАО «ЧМК» и в настоящее время намечается реконструкция рельсового производства на АО «ЕВРАЗ НТМК». Реконструкция производства позволила организовать выпуск дифференцированно-термоупрочненных рельсов длиной 100 м с печного нагрева разных категорий качества по ГОСТ Р 51685-2013. Однако опыт эксплуатации показал, что ресурс их не обеспечивает заданные требования в существующих условиях. При этом основными причинами изъятия рельсов (более 70%) в настоящее время являются достижения ими предельного состояния по контактной усталости и боковому износу. Ситуация усугубляется тем, что в последнее время на российских железных дорогах широко внедряются грузовые вагоны и локомотивы с осевыми нагрузками 245 кН, что интенсифицирует процессы накопления контактно-усталостных повреждений и износа. Поэтому в условиях интенсификации грузового движения тема исследований - разработка методов прогнозирования износа рельсов разных категорий качества и их контактно-усталостной повреждаемости является актуальной для развития транспортной отрасли страны.

2 Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, включающего 274 наименования, изложена на 312 страницах основного текста, включающего 101 рисунок, 62 таблицы и 11 приложений. Материал оформлен строго с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

В первой главе обоснована актуальность темы исследования, раскрыта степень ее разработанности, сформулирована цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, отражена степень достоверности и апробация результатов, указаны объект и предмет исследования

Достаточно широко представлен анализ теоретических и практических исследований по износу и контактной усталости рельсов. Выбраны направления научных исследований по методам прогнозирования износа и контактной усталости рельсов для разных эксплуатационных условий.

Во второй главе представлен разработанный автором алгоритм для прогнозирования бокового и вертикального износа рельсов для разных условий эксплуатации. Проведены экспериментальные исследования по износу рельсов ДТ350 в кривых участках пути Московской дирекции инфраструктуры и моделирования вертикального и бокового износа рельсов с использованием разработанных проектов кривых, аналогичных экспериментальным, с применением программного инструмента Rail Profile Wear Evolution программного комплекса «Универсальный механизм». Определены значения коэффициентов модели Шпехта. Введено понятие – «базовая интенсивность износа» рельсов. С использованием программного инструмента Rail Profile Wear Evolution определены «базовые интенсивности» бокового и вертикального рельсов для кривых участков пути радиусами 300, 400, 500, 600 м для разных возвышений наружного рельса.

В третьей главе приведены результаты исследований по влиянию конструкции экипажных частей и величин осевых нагрузок, категории качества рельсов, уровней непогашенных ускорений, лубрикации, уклонов продольного профиля пути и массы поездов, подуклонки рельсов, типа применяемых промежуточного рельсового скреплений, на интенсивность бокового и вертикального износа рельсов в кривых среднего и малого радиусов. Автором подробно исследованы с использованием методов математической статистики ансамбли боковых и вертикальных сил, действующих на наружный и внутренний рельсы от разных типов подвижного состава. Учитывая многообразие рельсовых экипажей автором предложено ранжирование подвижного состава по уровням силового воздействия, что позволили учитывать различие в конструкциях и величинах осевых нагрузок на износ рельсов в разработанной методике. С использованием модуля UM Train 3D в составе программного комплекса «Универсальный механизм» исследовано влияния уклонов и массы поездов на динамику продольных сил и, как результат, на изменение боковых сил при движении поездов в кривых разных радиусов на спусках и подъемах в режимах регулировочного торможения. На основании моделирования трехвагонного 3D-цепа, в составе поездов с разными массами, определены зависимости изменения боковых сил от набегающих колес полувагонов при движении поездов в режиме регулировочного торможения, в кривых разных радиусов, на спусках и подъемах, от величин уклонов. С учетом теоретически и экспериментально определенных функциональных

коэффициентов, учитывающих влияние на интенсивность износа рельсов, разработана методика прогнозирования износа рельсов разных категорий качества Для проведения расчетов разработано программное обеспечение. Проведена верификация разработанной методики на основании сравнительного анализа расчетных и эксплуатационных данных, предоставленных Слюдянской дистанцией пути.

В четвертой главе описан разработанный алгоритм прогнозирования контактной усталости на поверхности рельсов с использованием деформационных подходов. Исследовано напряженно-деформированное состояние зоны контакта колеса с рельсом при прокатывании вагонного колеса. С учетом механизма нагружения зоны контакта колеса с рельсом предложено использовать модель Брауна-Миллера для определения контактной усталости поверхности катания рельсов. С учетом определенных параметров упругой и пластической усталости для рельсовой стали, тензора напряжений в зоне контакта колеса с рельсом с использованием программного модуля Fatigue определены зависимости относительной повреждаемости поверхности катания от величин колесных нагрузок Автором с применением системы технического зрения и натурных измерений твердости по поперечному сечению рельсов в условиях эксплуатации определены статистические распределения точек контакта колес с рельсами с учетом извилистого движения колесных пар.

В пятой главе представлены аналитические выражения, позволяющие учитывать интегральное воздействие на рельсы вертикальных сил с учетом весовых коэффициентов от разных типов подвижного состава, скорости движения, климатических условий, поперечного профиля пути. Представлены подробные исследования по влиянию влажных и сухих выплесков на изменение уровней вертикальных сил. Все выполненные исследования позволяют более точно учитывать силовое воздействие от разнородного подвижного состава и разнообразных эксплуатационных факторов на контактную усталость поверхности катания рельсов.

В шестой главе приведен анализ кинематики зарождения, развития и роста поверхностных усталостных трещин. Автором выбрано исследование контактной усталости на поверхности рельса из-за высоких циклических напряжений, возникающих при качении колеса. С использованием полученной полиномиальной зависимости относительной повреждаемости рельсов и интегральных распределений вертикальных сил, автором предложен алгоритм и разработана методика расчета контактной усталости на поверхности катания рельсов до образования трещин. С применением метода экспертных оценок и результатов исследований АО ВНИИЖТ до образования трещин, предложен способ учета деградации механических свойств рельсовой стали от пропущенного тоннажа. На основании вышеизложенного разработана и предложена методика прогнозирования контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов до образования трещин, позволяющая определять влияние повышенных осевых нагрузок от подвижного состава на снижение ресурса рельсов по контактно-усталостной повреждаемости.

В седьмой главе приведены результаты отработки технологии фрезерования рельсов. Установлена эффективность удаления контактно-усталостных трещин, распространяющихся на глубину до 2,5 мм, с использованием рельсофрезерного поезда. Разработаны для АО «Калужский завод «Ремпутьмаш» мероприятия по совершенствованию технологии фрезерования рельсов, конструкции рабочих органов и измерительной системы рельсофрезерного поезда РФП-1.

В заключение обобщаются результаты и выводы, полученные в ходе диссертационной работы.

3 Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- правильностью принятых допущений;
- корректностью использования общепризнанных программных комплексов «Универсальный механизм», MARC, Fatigue;
- применением математического программирования и современных методов вычислительной математики;
- проведением натурных испытаний по воздействию на путь разных типов рельсовых экипажей с разными осевыми нагрузками и в разных условиях эксплуатации;
- применением методов теории вероятностей и математической статистики при обработке массивов данных вертикальных и боковых сил;
- сходимостью расчетных данных и результатов эксплуатационных испытаний;
- обсуждением результатов на Рельсовых комиссиях, согласование результатов исследований с ведущими специалистами отрасли - АО ВНИИЖТ, ПКБ И, Управления пути и сооружений.

4 Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Предложен метод определения интенсивности износа рельсов разных категорий качества путем определения коэффициентов износа при проведении виртуальных экспериментов по проекту реальной кривой и результатов экспериментальных измерений бокового и вертикального износа при разном пропущенном тоннаже.
2. Разработана научно обоснованная методика прогнозирования износа рельсов для разных условий эксплуатации.
3. Разработана методика формирования интегрального распределения вертикальных нагрузок от суточного пакета поездов и структуры поездопотока.
4. Впервые для прогнозирования пропущенного тоннажа до образования трещин на поверхности катания предложено использовать деформационную модель Брауна-Миллера, позволяющую учитывать как упругую, так и пластическую деформации на поверхности рельсов.
5. Для учетом деградации механических свойств поверхности катания рельсов автором с использованием экспертного метода и результатов натур-

ных испытаний получены аналитические выражения относительной и интегральной повреждаемости для летних и зимних условий и разных значений пропущенного тоннажа.

6. Разработана методика прогнозирования контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов до образования трещин с использованием деформационной модели многоосной усталости Брауна – Миллера и учетом деградации механических свойств рельсовой стали в зависимости от пропущенного тоннажа.

7. Разработана методика определения геометрических параметров режущего инструмента фрез рельсофрезерного поезда с преобразованием облака точек методом сингулярного разложения и с использованием алгоритмов Делоне.

5 Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

1 Разработаны «Нормативы интенсивности износа рельсов разных категорий качества».

2 Разработана методика прогнозирования износа рельсов для разных условий эксплуатации.

3 Разработана программа для прогнозирования износа рельсов на основании разработанной методики.

4 Для определения распределений точек контакта колеса с рельсом по поперечному сечению с учетом извилистой траектории движения колесных пар разработано и изготовлено устройство на основе системы технического зрения и предложен алгоритм обработки видеосигналов.

5 Установлены средние значения и статистические характеристики вертикальных и боковых сил, действующих на наружный и внутренний рельсы от разных типов грузовых, пассажирских вагонов и локомотивов в кривых участках пути малого и среднего радиуса, в том числе от грузовых вагонов с осевыми нагрузками 245 и 265 кН. Предложено ранжирование подвижного состава по кластерам в зависимости от диапазона силового воздействия.

6 Разработана и предложена к внедрению методика прогнозирования контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов до образования трещин, позволяющая определять влияние повышенных осевых нагрузок от подвижного состава на снижение ресурса рельсов по контактно-усталостной повреждаемости.

7 Разработаны и переданы на АО «Калужский завод «Ремпутьмаш» мероприятия по совершенствованию технологии фрезерования рельсов, конструкции рабочих органов и измерительной системы рельсофрезерного поезда РФП-1.

6 Заключение соответствия диссертации паспорту научной специальности

На основе выполненных комплексных теоретических и экспериментальных исследований получены новые научно обоснованные технические и

технологические решения по снижению износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог по пунктам 2, 5, 7.

7 Апробация работы и публикации

Основные результаты научного исследования достаточно широко доложены, обсуждены и одобрены на 19-ти научно-практических международных и всероссийских конференциях. Диссертация доложена и одобрена на заседании кафедры «Путь и путевое хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ), 2021, 2022).

Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы в 40 научных работах, из них 18 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, 3 патента, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

8 Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, отражает ее структуру и положения, выносимые на защиту. Автореферат по структуре и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

9 Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертационной работы

1. По влияния категории рельсов на их износстойкость получены из некорректно поставленных наблюдений: в большинстве случаев не была обеспечена идентичность условий эксплуатации (кроме ДТ350 и ДТ400 ИК, уложенных методом чередования). В результате влияние этого фактора на интенсивность износа рельсов завышено.

2. Зависимость износа от пропущенного тоннажа описывается не степенной, а линейной функцией.

3. Отказ при контактной усталости в отличие от обычной усталости имеет условный характер. Поэтому необходимо задать размер трещины, соответствующей отказу, что не сделано в работе.

4. При контактной усталости рельсов образуются различные виды трещин. Поперечные, наиболее опасные трещины в головке возникают от продольных трещин контактной усталости, растущих на глубине 5-10 мм от поверхности катания. В настоящее время продольные трещины образуются как огибающие к нескольким параллельным поверхностным трещинам, возникшим от поверхности выкружки головки (head checks) или коническим трещинам в середине головки (squats). Ранее продольные внутренние трещи-

ны возникали на той же глубине от концентраторов напряжений в виде крупных скоплений оксидных неметаллических включений. В работе не рассмотрены эти различные виды дефектов контактной усталости. Скорее всего трещины контактной усталости, о которых идет речь в работе, ближе всего к трещинам, делающим рельсы контроленепригодными (дефект 19).

5. В соответствии с ГОСТ 51685 - 2013 на российских железных дорогах эксплуатируется несколько категорий рельсов (ДТ350, ДТ370ИК, ДТ400ИК и др.), которые имеют отличия по химическому составу и механическим свойствам. Из текста диссертации непонятно, как учитываются разные категории рельсов при прогнозировании контактной усталости поверхности катания рельсов.

6. При учете величин осевых нагрузок их диапазон целесообразно расширить до перспективных значений, включив 265 и 295 кН/ось.

7. Для удаления контактно-усталостных дефектов и репрофилирования изношенной поверхности головки рельсов за рубежом широко используется технология шлифования с использованием рельсошлифовальных поездов, в том числе и высокоскоростных, не требующих выделения окон. Требуется пояснение, какое применение в будущем на РЖД должны найти технологии фрезерования и шлифования (в том числе и высокоскоростного).

Сделанные замечания не изменяют общей положительной оценки работы.

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной с использованием современных программных комплексов и значительного количества экспериментальных исследований, проведенных в условиях Восточно-Сибирской, Московской ДИ. Автор успешно использует опыт ведущих научных школ в области износа и контактной усталости рельсов – АО ВНИИЖТ, СГУПС, ПКБ И, а также опыт зарубежных исследователей. Это позволяет оценить научную работу О.Г. Краснова безусловно положительно.

10 Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», по п 10, 11, 13, 14

В соответствии с п.10 диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

В соответствии с п.11 основные положения и научные результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, включенных в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертационных работ.

В соответствии с п.13 количество публикаций автора, в которых излагаются основные положения и научные результаты диссертации, в полной мере отвечает критериям.

В соответствии с п.14 в диссертации соискатель использует результаты научных работ, выполненных лично или в соавторстве, и отмечает это обстоятельство.

11 Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», по п. 9

Считаю, что диссертация Краснова Олега Геннадьевича на тему «Прогнозирование износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения» по актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, их достоверности и новизне, а также по содержанию, научному уровню, является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие железнодорожного транспорта и страны. Диссертационная работа соответствует научной специальности 2.9.2 Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог и отвечает требованиям п.9 установленным «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор, Краснов Олег Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.2 Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог.

Официальный оппонент,
Шур Евгений Авельевич,
доктор технических наук, профессор,
05.16.01 – Металловедение и термическая
обработка металлов
129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10
Тел.: +7 916 877 96 94
e-mail: shurea@mail.ru,
Акционерное Общество
«Научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта»
(АО «ВНИИЖТ»)


Е.А. Шур

Подпись Е.А.Шура удостоверяю



Отзыв

официального оппонента, доктора технических наук Андреевой Л.А на диссертационную работу Краснова Олега Геннадьевича «Прогнозирование износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог

1 Актуальность избранной темы

Рельсы являются наиболее дорогостоящим элементом верхнего строения пути от надежной работы которого в значительной степени зависит безопасность движения поездов и стоимость жизненного цикла пути в целом. Несмотря на усилия, предпринимаемые со стороны заводов - изготовителей, научно-исследовательских организаций, ресурс и показатели надежности рельсов не соответствуют предъявляемым требованиям по указанным параметрам в условиях интенсификации грузового движения. Наибольший ущерб наносят дефекты контактно-усталостного характера. Более половины всех изъятий рельсов, ежегодно производимых на российских железных дорогах, приходится на дефекты поверхности катания рельсов, а также поперечные трещины, которые также возникают от дефектов контактно – усталостного характера.

Снижение бокового и вертикального износа головки рельсов представляет важную задачу, связанную со снижением стоимости жизненного цикла железнодорожного пути. Проблема всегда была актуальной на железнодорожном транспорте, но еще больше возросла в связи с внедрением нового подвижного состава и рельсов новых категорий. При протяженности кривых участков пути приблизительно 30% от общей протяженности российских железных дорог ежегодно производится более 22% изъятий от общего количества по достижению предельной величины, главным образом, бокового износа наружных рельсов. Поэтому вопросы связанные с установлением наиболее значимых факторов, влияющих на износ и контактно - усталостную повреждаемость в условиях внедрения на российских железных дорогах грузовых вагонов и локомотивов с осевыми нагрузками 245 кН является важной народнохозяйственной задачей. На основании изложенного следует, что диссертационная работа Краснова Олега Геннадьевича «Прогнозирование износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения»

выполнена, на актуальную тему, представляет научный и практический интерес.

2 Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, включающего 274 наименования, изложена на 312 страницах основного текста, включающего 101 рисунок, 62 таблицы и 11 приложений

Объектом исследования являются рельсы железнодорожного пути.

Предметом исследования являются методы прогнозирования интенсивности износа и контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов в условиях интенсификации грузового движения.

Цель работы – разработка научно обоснованных методов прогнозирования износа рельсов разных категорий качества и их контактно-усталостной повреждаемости для условий интенсификации грузового движения.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

- разработана структурная схема и аналитические выражения для расчета бокового и вертикального износа рельсов различных категорий качества для разных условий эксплуатации;
- установлены нормативы интенсивности износа рельсов разных категорий качества для базовых условий эксплуатации;
- определены количественные значения функциональных коэффициентов, определяющие интенсивность бокового и вертикального износа рельсов разных категорий качества от эксплуатационных факторов (радиуса кривых участков пути, уровней непогашенных ускорений, периодичности лубрикации рельсов, продольного профиля пути и массы поездов, конструкции экипажных частей подвижного состава и величин осевых нагрузок, типа применяемых промежуточных рельсовых скреплений);
- разработана методика прогнозирования износа рельсов различных категорий качества для разных условий эксплуатации и программное обеспечение для автоматизированного расчета износа рельсов;
- разработан алгоритм прогнозирования контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов, определены параметры деформационных кривых пластической и упругой усталости рельсовой стали, влияние на контактно-усталостную повреждаемость извилистого движения колесных пар и деградации механических свойств поверхности катания от пропущенного тоннажа;

- разработана методика формирования интегрального распределения вертикальных сил от суточного пакета поездов для конкретного перегона с учетом наиболее значимых факторов состояния пути, в том числе выплесков во влажном и сухом состояниях;
- разработана методика прогнозирования контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов до образования трещин с учетом деградации механических свойств от пропущенного тоннажа;
- определены закономерности технологии фрезерования рельсов в пути при репрофилировании изношенной головки рельса и удаления контактно-усталостных повреждений, распространяющихся на глубину до 2,5 мм.

3 Оценка содержания диссертации

Основное содержание диссертации изложено в 40 научных работах, в том числе в изданиях ВАК – 18, в изданиях SCOPUS –1, в журналах «Железнодорожный транспорт», «Вестник ВНИИЖТ», «Мир транспорта», «Вестник транспорта Поволжья», «Транспорт Российской Федерации», «Путь и путевое хозяйство», «Вагоны и вагонное хозяйство» и материалах конференций всероссийского и международного уровней. Получено 3 патента.

Материал оформлен строго с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Материал читаем, имеет логическую последовательность хорошо иллюстрирован. В конце каждой главы есть подраздел с выводами, что существенно повышает воспринимаемость материала.

Введение содержит основные положения работы: обоснование актуальности проблемы и формирование направлений исследований. Определены цели, задачи и методы исследования, пути решения задач, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведен литературный обзор, в котором автор комплексно описал текущую ситуацию по износу и контактно-усталостной повреждаемости рельсов в условиях эксплуатации на российских железных дорогах, выполнил анализ результатов ранее проведенных теоретических и экспериментальных исследований по износу и контактно-усталостной повреждаемости рельсов. На основании проведенного анализа сформулированы задачи и цель исследований. Первая глава полностью описывает текущее состояния области исследования и условия, в которых выполнено научное исследование.

Во второй главе по результатам многовариантных расчетов износа

рельсов с использованием программного инструмента Rail Profile Wear Evolution в составе программного комплекса «Универсальный механизм» по критерию максимальной сходимости экспериментальных и расчетных данных в опытных кривых участках пути установлены параметры модели изнашивания Шпехта: коэффициент износа $k_v = 2,57 \cdot 10^{-13}$, коэффициент скачка $k_y = 12$ и критическая плотность мощности $P_{kp} = 30 \text{ Вт}/\text{мм}^2$ для рельсов ДТ350. Предложен метод оценки интенсивности износа рельсов разных категорий качества путем определения их коэффициентов износа Автором введено впервые понятия «базовая интенсивность» износа», которое использовано при разработке методики прогнозирования бокового и вертикального износа рельсов.

В третьей главе представлены результаты по определению количественных значений функциональных коэффициентов, определяющих интенсивность бокового и вертикального износа и выполнено их ранжирование по доле их вклада в интенсивность износа рельсов.

Для автоматизации расчетов интенсивности бокового и вертикального износа автором для предложенной методики разработана программа в среде графического программирования Lab View 2011 и проведен сравнительный анализ расчетных и опытных данных. Установлено, что расхождение не превышало 15%, что достаточно для практического использования методики.

В четвёртой главе представлены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния зоны контакта при прокатке вагонного колеса по рельсу. Установлено, что на поверхности катания рельсов при качении колеса формируется многоосное напряженное состояние. Выполнен анализ деформационных моделей усталостного разрушения для случая многоосного усталостного разрушения: модель Брауна – Миллера, модель Фатеми – Соси и модель Смита – Ватсона – Топпера. Сравнивая механизмы разрушения, соответствующие вышеперечисленным моделям, для расчета контактно-усталостной долговечности рельсов выбрана модель Брауна – Миллера с учетом работы поверхности катания рельса в упругопластической зоне при многоосном циклическом нагружении, включающем деформации сжатия, нормальные к площадке сдвиговых деформаций в зоне контакта колеса с рельсом.

С использованием программного комплекса Fatigue проведены расчеты относительной повреждаемости поверхности катания рельсов для разных значений вертикальных сил F_i . С использованием разработанного устройства, на основе системы технического зрения, определено статистическое распределение точек контакта колеса по поперечному сечению поверхности

катания рельса.

В пятой главе представлены результаты статистического и спектрального анализа ансамблей вертикальных сил от взаимодействия колес подвижного состава и пути. Установлено, что распределения вертикальных сил от поездов, сформированных из вагонов с близкими осевыми нагрузками, хорошо аппроксимируются нормальным законом по критерию согласования Колмогорова – Смирнова. Представлена разработанная методика определения интегрального распределения вертикальных сил от разного типа подвижного состава и разного состояния пути.

В шестой главе представлен анализ кинематики образования и роста контактно-усталостных трещин на поверхности катания рельсов, приведена разработанная методика расчета контактно-усталостной повреждаемости рельсов до образования трещин на поверхности катания. Автором предложен способ учета деградации механических свойств рельсовой стали от пропущенного тоннажа. Расчетным путем выполнена оценка снижения службы рельсов до образования трещин при увеличение доли грузовых вагонов с нагрузками 245 кН/ось с 9 до 64 % на примере Зиловской дистанции пути Забайкальской дирекции инфраструктуры (ДИ).

В седьмой главе изложены результаты исследования по отработке технологии фрезерования поверхности катания рельсов, в частности по репрофилированию изношенной головки рельса и удалению контактно-усталостных дефектов на глубину до 2,5 мм за один проход. Установлено, что профиль, формируемый после работы рельсофрезерного поезда РФП01, отличается от профиля ГОСТ 51685-2013. Определены причины некачественного формирования поперечного профиля путем измерений режущего инструмента с помощью высокоточной координатно-измерительной машины Fusion 6 фирмы FARO. Разработана методика определения геометрических параметров режущих поверхностей кассет фрезерных колес, преобразование облака точек, полученных в результате измерений, методом сингулярного разложения и построения 3-Д моделей кассет с использованием алгоритмов Делоне.

В приложениях к диссертации приведены акты о внедрении результатов исследований в Голутвинской дистанции пути ПЧ7, Рязанской дистанции пути ПЧ39 Московской ДИ, Слюдянской дистанциях пути ПЧ 9 Восточно-Сибирской ДИ.

Диссертация написана автором самостоятельно как квалификационная работа, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

4 Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

1. Основные направления исследований, цель и задачи диссертации сформулированы на основании обширного анализа ранее проведенных теоретических и практических исследований в области износа и контактно-усталостной прочности рельсов.

2. Корректностью использования общепризнанных программных комплексов «Универсальный механизм» с применением модулей UM Loco для определения сил взаимодействия подвижного состава и пути, UM Subsystems для проведения многовариантных расчетов при выборе коэффициентов износа и скачка, Rail Profile Wear Evolution для оценки износа рельсов, программного комплекса MARC для определения напряженно-деформированного состояния зоны контакта колеса с рельсом при упруго-пластическом деформировании, программного комплекса Fatigue для расчета контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов.

3. Обширными исследованиями сил взаимодействия колес разных типов подвижного состава, в том числе грузовых вагонов, локомотивов с осевыми нагрузками 245 кН и пути с разным состоянием, в том числе на влажных и сухих выплесках с использованием метода Шлюмпфа в соответствии с ГОСТ Р 55050–2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний.

4. Сходимостью расчетных данных и результатов натурных измерений.

5. Применением зарекомендовавших себя методов теории вероятности и математической статистики при обработке ансамблей вертикальных и боковых сил.

Всё это обеспечивает высокую степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

5 Научная новизна диссертации заключается в следующем

1. Разработан метод определения экспериментально-расчетным путем коэффициентов износа и скачка для разных категорий рельсов. Предложен способ оценки износстойкости рельсов разных категорий качества путем сравнения их коэффициентов износа;

2. Установлены количественные значения и закономерности изменения основных факторов, влияющих на интенсивность износа рельсов;

3. Разработана методика прогнозирования износа рельсов различных

категорий качества для разных условий эксплуатации;

4. С использованием обоснованной деформационной модели Брауна-Миллера, определенных параметров упругой и пластической усталости рельсовой стали с использованием программного комплекса Fatigue фирмы Sofware определены величины относительной повреждаемости поверхности катания от величин колесной нагрузки при прокатывании вагонного колеса по рельсу.

5. Разработана методика определения контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов до образования трещин с использованием деформационной модели многоосной усталости Брауна – Миллера и учетом деградации механических свойств поверхности катания рельсов от пропущенного тоннажа.

6. Разработана методика определения геометрических параметров режущего инструмента фрезерных колес рельсофрезерных поездов.

6 Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

1 Экспериментально - расчетным путем определены коэффициенты износа и скачка модели Шпехта для рельсов общего назначения ДТ350.

2 Экспериментальным путем установлена износостойкость рельсов разных категорий качества для базовых условий и разработаны нормативы интенсивности износа рельсов разных категорий качества.

3. Разработана и подготовлена к утверждению методика прогнозирования износа рельсов.

4 Разработана программа для прогнозирования износа рельсов.

5 Разработано и изготовлено устройство на основе системы технического зрения и предложен алгоритм обработки видеосигналов для определения распределений точек контакта колеса с рельсом по поперечному сечению.

5 Предложено ранжирование подвижного состава по кластерам в зависимости от диапазона силового воздействия.

6 Установлены средние значения и статистические характеристики вертикальных и боковых сил, действующих на наружный и внутренний рельсы от разных типов грузовых, пассажирских вагонов и локомотивов в кривых участках пути малого и среднего радиуса, в том числе от грузовых вагонов с осевыми нагрузками 245 и 265 кН.

7 Разработана и предложена к внедрению методика прогнозирования контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов до

образования трещин на поверхности катания.

8 Впервые для российских железных дорог установлены закономерности формирования методом фрезерования изношенного поперечного профиля головки рельса в прямых и кривых участках пути. Путем проведения испытаний показана эффективность удаления контактно-усталостных повреждений, распространяющихся на глубину до 2,5 мм, с использованием рельсофрезерного поезда. Разработаны и переданы на АО «Калужский завод «Ремпутьмаш» мероприятия по совершенствованию технологии фрезерования рельсов, конструкции рельсофрезерного поезда РФП-1.

7 Соответствие диссертации паспорту научной специальности

На основе выполненных комплексных теоретических и экспериментальных исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения по снижению износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог по пунктам:

пункту 2 – «Конструкции верхнего и нижнего строения железнодорожного пути. Основные параметры, направления развития, проектирование, изготовление. Система технического обслуживания и ремонтов железнодорожного пути. Технология железнодорожного пути. Внедрение результатов исследований»;

пункту 5 - «Методы исследования, испытаний и моделирования железнодорожного пути и процессов его взаимодействия с подвижным составом».

пункту 7- «Эксплуатационная надежность железнодорожного пути»
Объект и область исследований не противоречат паспорту специальности
Содержание диссертации соответствует теме диссертации

8 Апробация работы и публикации

Основные результаты научного исследования достаточно широко доложены, обсуждены и одобрены на НТС секции Путевое хозяйство ОАО РЖД, Рельсовых комиссиях 2018 – 2021г.г., на 19-ти научно-практических международных и всероссийских конференциях. Диссертация доложена и

одобрена на заседании кафедры «Путь и путевое хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ),

Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы в 40 научных работах, из них 18 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, З патента, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

9 Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, отражает ее структуру и положения, выносимые на защиту. Автореферат по структуре и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

10 Замечания по диссертационной работе

Безусловно положительно оценивая научную работу О.Г. Краснова, следует сделать следующие замечания по ее содержанию.

1. В главе 1 при анализе ранее выполненных исследований контактно-усталостной прочности рельсов при качении колес следовало бы выделить основные значимые факторы, оказывающие влияние на поверхностные дефекты: марки рельсовых сталей (перлитные, бейнитные), влияние влаги, смазки на развитие КУ- трещин, величины нагрузок и др.

2. В главе 2 не раскрыта причина отнесения ширины колеи к малозначимым факторам.

3 В главе 3 при учете влияния промежуточных рельсовых скреплений на износ рельсов принимаются номинальные параметры промежуточных рельсовых скреплений. В условиях эксплуатации имеет место деградация элементов промежуточных рельсовых скреплений, приводящая к отступлению подуклонки рельсов от номинала, что приводит к изменению износа. Стоило этому уделить внимание в проводимых исследованиях.

4 В главе 3 при моделировании влияния на износ рельсов продольных сил, выполненного с применением модуля UM Train программного комплекса «Универсальный механизм», при движении поездов разной массы на спусках в режиме регулировочного торможения. Следовало бы учитывать изменения значений нормальных сил на боковой грани и поверхности катания, которые непосредственно определяют изнашивание рельсов.

5. Для проведения сравнительного анализа стойкости рельсов к износу АО ВНИИЖТ разработана Методика исследования интенсивности износа

рельсов методом чередования. Из текста непонятно использовался ли данный метод при получении опытных данных для сравнительной оценки интенсивности износа рельсов разных категорий при проведении настоящих исследований.

6. В версии 9 программного комплекса «Универсальный механизм 9.0» имеется модуль UM Rolling Contact Fatigue of Rail в котором заложен алгоритм расчета контактно - усталостной долговечности колес и рельсов. Требуется пояснить в чем новизна подхода к прогнозированию контактно - усталостной долговечности рельсов в представленных исследованиях.

7 В главе 5 не раскрыто влияние «прогрессивного» (имеющего повышенный статический прогиб) рессорного подвешивания, применяемого на новых типах грузовых вагонов с повышенными осевыми нагрузками, на уровни и распределения вертикальных сил.

8 В главе 7 При фрезеровании рельсов может иметь отклонение от номинала не только подуклонка кассет, но и подуклонки рельсов. По нормативам на российских железных дорогах установлен диапазон изменения подуклонки рельсов в пределах от 1/60 до 1/12. Следовало показать влияние отклонения подуклонки рельсов от номинального параметра на качество формирования поперечного профиля рельсов при фрезеровании.

9 В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки и стилистические неточности .

Указанные замечания не влияют на научную и практическую значимость полученных О.Г. Красновым результатов и не снижают ее общей положительной оценки, а в большей степени направлены на повышение качества и эффективности дальнейших исследований.

11 Заключение

Приведённый выше анализ оппонируемой диссертации «Прогнозирование износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения» свидетельствует об актуальности, оригинальности, научной новизне и значимости выполненной автором - Красновым Олегом Геннадьевичем работы. Внедрение результатов исследования автора вносит значительный вклад в развитие железнодорожного транспорта Российской Федерации и развитие промышленности страны в целом. Диссертационная работа соответствует научной специальности 2.9.2 Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог по пунктам паспорта специальности: п.2,5,7.

Диссертация Краснова Олега Геннадьевича «Прогнозирование износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Краснов Олег Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.2 Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог.

Официальный оппонент,
Андреева Людмила Александровна,
Академик РАТ, доктор технических наук,
старший научный сотрудник ВАК
заместитель директора ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ»
117331, г. Москва, проспект Вернадского д.29
Тел.: +7 (499) 133 44 01, +7 (916) 118 48 55,
e-mail: andreeva4you@yandex.ru,
ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ»,
Ассоциация «АСПРОМТРАНС»



Л.А. Андреева

Подпись Андреевой Л.А. заверяю:
Советник исполнительного директора
ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ»
Н.В. Кононович



23.09.2022 -

Отзыв

официального оппонента д.т.н., профессора Шаповалова В.В. на диссертационную работу Краснова Олега Геннадьевича «Прогнозирование износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог

1 Актуальность избранной темы

В соответствии с «Долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 г.» предусмотрено увеличить срок службы рельсов до 1500 млн т брутто. Протоколом совещания под председательством Министра промышленности и торговли Российской Федерации Д. В. Мантурова основными целевыми показателями предусматривается увеличение межремонтного срока между капитальными ремонтами пути до 2000...2500 млн т брутто. Опыт эксплуатации рельсов показал, что ресурс рельсов до достижения предельного состояния ниже, чем определено в Постановлениях правительства. При этом основными дефектами рельсов, приводящими к их изъятию, являются дефекты контактно-усталостного характера и износа. По данным Управления пути и сооружений на российских железных дорогах ежегодно заменяется более 140 тыс. рельсов в 25-метровом эквиваленте. Из них более 70 % по дефектам контактно-усталостного характера и по достижению предельного состояния по износу. Ситуация осложняется внедрением на российских железных дорогах грузовых вагонов и локомотивов с осевыми нагрузками 245 кН.

В связи с интенсификацией грузового движения актуальным стала необходимость развития научно-обоснованных методов прогнозирования предельного состояния элементов верхнего строения пути, в частности рельсов, как наиболее ответственного за безопасность движения и дорогостоящего элемента пути.

2 Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основные научные положения, сформулированные в диссертации и выносимые на защиту, представляют ряд новых усовершенствованных научно обоснованных методов, методик и алгоритмов прогнозирования износа рельсов, контактно-усталостной повреждаемости их поверхности катания, технологии механической обработки поверхности катания рельсов методом фрезерования для удаления дефектов на глубину до 2,5 ... 3 мм.

В процессе проведения исследований в качестве базовых использованы следующие научные положения и научные подходы:

- для решения касательной контактной задачи и определения износа

рельсов используется алгоритм FASTSIM, в котором пятно контакта разбивается на участки сцепления и участки скольжения по критерию выполнения закона Кулона Для каждого элемента определяется работа сил трения от продольного, поперечного крипов и спина;

- для определения нормальных сил в контакте колесо рельс использовался модуль UM Loco программного комплекса «Универсальный механизм», позволяющий учитывать пространственные колебания вагона, как твердотельной системы, изменение геометрии профилей колес и рельсов из-за изнашивания;

- для определения износа выбрана модель изнашивания Шпехта, в которой приняты режимы умеренного на круге катания и интенсивного в гребневом контакте износа;

- сходимость расчетных данных и измерений в условиях эксплуатации по износу рельсов составила 15%, что достаточно для практического использования;

- при моделировании зоны контакта при качении колеса, работающей в упруго-пластической зоне использовался программный комплекс MARC, для расчета контактной усталости – программный комплекс Fatigue. Оба эти комплекса хорошо себя зарекомендовали при решении нелинейных задач пластической деформации и расчетах усталостной долговечности деталей.

- определение сил взаимодействия колес и рельсов проводилось методом Шлюмпфа в соответствии с ГОСТ Р 55050–2012. Обработка экспериментальных данных выполнялась с применением теории вероятностей и математической статистики.

Разработанные, с учетом вышеприведенных научных положений и подходов, методики прогнозирования износа и контактно-усталостной повреждаемости позволяют учитывать влияние структуры поездопотока и подвижного состава, в том числе с повышенными осевыми нагрузками, на снижение срока службы рельсов.

С учетом вышеизложенного научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации можно считать обоснованными.

3 Оценка содержания диссертации, ее завершенности

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы.

Во введении обоснована актуальность, проанализирована степень разработанности темы, определены объект и предмет исследования, цель и задачи исследования, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

Первая глава является по сути литературным обзором, в котором автор комплексно описал текущую ситуацию по износу и контактно-усталостной повреждаемости рельсов в условиях эксплуатации на Российских железных дорогах, выполнил анализ результатов ранее проведенных теоретических и экспериментальных исследований по износу и контактной усталости рельсов.

На основании проведенного анализа сформулированы задачи и цель исследований. Первая глава полностью описывает текущее состояния области исследования и условия, в которых выполнено научное исследование.

Вторая глава посвящена виртуальным экспериментам по изнашиванию рельсов ДТ350 для конкретных условий эксплуатации. В качестве инструмента выбран программный комплекс «Универсальный механизм». Применительно к контакту «колесо – рельс» принято, что на круге катания реализуется умеренный износ, а в гребневом контакте – интенсивный. Автором введено понятие «базовая интенсивность» бокового и вертикального износа рельсов. Экспериментально определены параметры бокового и вертикального износа рельсов ДТ350 в опытном кривом участке пути в зависимости от пропущенного тоннажа. Создана компьютерная модель, соответствующая натурным параметрам опытной кривой. Выполнены многовариантные расчеты процесса изнашивания в опытной кривой с учетом фактических типов и долей подвижного состава, курсирующего по опытной кривой. Методом подбора определены коэффициенты износа k_v и коэффициенты скачка k_y рельсов ДТ350 для модели изнашивания Шпехта. Полученные экспериментально-расчетным путем коэффициенты износа k_v и скачка k_y для рельсов ДТ350 использованы для расчетов базовых интенсивностей бокового и вертикального износов рельсов. Путем проведения моделирования определены «базовые интенсивности» бокового и вертикального износа рельсов для кривых участков пути разных радиусов и возвышений наружного рельса.

В третьей главе представлены результаты комплексных экспериментальных и теоретических исследований по установлению количественных значений функциональных коэффициентов, определяющих интенсивность бокового и вертикального износа рельсов разных категорий качества, от эксплуатационных факторов (радиуса кривых участков пути, уровней непогашенных ускорений, периодичности лубрикации рельсов, продольного профиля пути и массы поездов, конструкции экипажных частей подвижного состава и величин осевых нагрузок, типа применяемых промежуточных рельсовых скреплений).

На основании полученных количественных значений факторов износа выполнено их ранжирование по доле влиянию их на интенсивность износа рельсов. Для автоматизации расчетов интенсивности бокового и вертикального износа рельсов автором разработано программное обеспечение в среде графического программирования Lab View 2011.

В четвёртой главе представлен разработанный алгоритм определения контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов. Разработана конечно-элементная модель прокатки вагонного колеса по рельсу, которая позволила установить, что компоненты тензора напряжений на поверхности рельса находятся в непропорциональном многоосном напряженном состоянии. На основании многоосного напряженного

состояния зоны контакта колеса с рельсом для определения контактно-усталостной долговечности обоснованно применение модели Брауна – Миллера. С использованием модифицированного метода твердости Расла – Фатеми для рельсов определены параметры деформационных кривых усталости. С использованием программного комплекса Fatigue проведены расчеты относительной повреждаемости поверхности катания рельсов. Получена полиноминальная зависимость относительной повреждаемости поверхности катания рельсов от вертикальной силы F_i . Для учета извилистой траектории движения разработано устройство на основе системы технического зрения и предложен алгоритм обработки видеосигнала. Установлено, что повреждающее действие от колес подвижного состава распределяется по поперечному сечению неравномерно, основная доля приходится на продольные полосы поверхности катания рельса, расположенные на расстоянии 20...25 мм от внутренней боковой грани (~26,4 %) и на расстоянии 25...30 мм (22 %).

В пятой главе представлены результаты статистического и спектрального анализа ансамблей вертикальных сил от взаимодействия колес подвижного состава и пути. Установлено, что распределения вертикальных сил от поездов, сформированных из вагонов с близкими осевыми нагрузками, представляют стационарные, эргодические процессы с незначительными величинами асимметрии (не более 3–3,5 % от средних значений). Ансамбли вертикальных сил от воздействия поездов, сформированных из однородных вагонов, хорошо аппроксимируются нормальным законом по критерию согласования Колмогорова – Смирнова.

Для более точного учета силового воздействия на рельсы со стороны разных типов подвижного состава, в том числе грузовых вагонов с повышенными осевыми нагрузками, представлена разработанная методика определения интегрального распределения вертикальных сил, позволяющая учитывать воздействие от разного типа подвижного состава с учетом конструкции ходовых частей и величин осевых нагрузок, скорости движения, жесткости подрельсового основания от сезонности (лето, зима), поперечного профиля пути, состояния пути (наличия выплесков), доли каждого типа подвижного состава в суммарном воздействии на путь.

В шестой главе представлен алгоритм и разработанная методика расчета контактно-усталостной повреждаемости рельсов до образования трещин на поверхности катания рельсов. Автором с использованием результатов исследований АО ВНИИЖТ до образования трещин и метода экспертных оценок предложен способ учета деградации механических свойств рельсовой стали от пропущенного тоннажа для использования в разрабатываемой методике. С учетом разработанной методики, расчетным путем, на примере Зиловской дистанции пути Забайкальской дирекции инфраструктуры, установлено, что увеличение доли грузовых вагонов с нагрузками 245 кН/ось с 9 до 64 % приведет к снижению срока по пропущенному тоннажу до образования трещин контактно-усталостного

характера на поверхности катания рельсов на 11,3 %.

В седьмой главе представлены результаты исследования по отработке технологии фрезерования поверхности катания рельсов, в частности по репрофилированию изношенной головки рельса и удалению контактно-усталостных дефектов на глубину до 2,5 мм за один проход. Установлено, что после работы рельсофрезерного поезда формируется поперечный профиль не соответствующий требованиям ГОСТ 51686 – 2013. Определены причины некачественного формирования поперечного профиля путем измерений режущего инструмента с помощью высокоточной координатно-измерительной машины Fusion 6 фирмы FARO. Разработана методика определения геометрических параметров поверхностей кассет фрезерных колес, преобразование облака точек, полученных в результате измерений, методом сингулярного разложения и построения 3-D моделей кассет с использования алгоритмов Делоне.

В Заключении сформулированы полученные в результате научно-практических исследований выводы и предложения по дальнейшим работам, которые соответствуют поставленной цели исследования, содержат научную новизну, научно-практический результат работы.

Раздел «**Литература**» приводит в порядке использования по тексту диссертации все литературные источники, на которые есть ссылки в тексте диссертации. Следует отметить полноту ссылок по тексту диссертации при использовании «чужого» материала», о чём свидетельствует высокий уровень оригинальности текста. Описание литературы соответствует требованиям соответствующего национального стандарта. В списке приведены все собственные публикации.

В приложениях к диссертации приведены акты о внедрении результатов исследований в Голутвинской дистанции пути ПЧ7, Рязанской дистанции пути ПЧ39, Московской ДИ, Слюдянской дистанциях пути ПЧ 7, Восточно-Сибирской ДИ. Приведены Акты и протокол по результатам экспериментальных исследований по воздействию на путь разного типа подвижного состава, в том числе грузовых вагонов и локомотивов с осевыми нагрузками 245 кН, представлено описание алгоритма, руководства пользователя, а также текст программы расчета износа рельсов.

По содержанию диссертации можно говорить о её оригинальности, научности, целостности и завершённости. В диссертации полностью раскрыта и развернута тема исследования, решены поставленные задачи, получены новые научные знания. Материал оформлен строго с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Материал читаем, имеет логическую последовательность, хорошо иллюстрирован. В конце каждой главы есть подраздел с выводами, что существенно повышает воспринимаемость материала.

Основное содержание диссертации изложено в 40 научных работах, в

том числе в изданиях ВАК – 18, в изданиях SCOPUS – 1, в журналах «Железнодорожный транспорт», «Вестник ВНИИЖТ», «Мир транспорта», «Вестник транспорта Поволжья», «Транспорт Российской Федерации», «Путь и путевое хозяйство», «Вагоны и вагонное хозяйство» и материалах конференций всероссийского и международного уровней. Получено 3 патента.

4 Достоверность и научная новизна, полученных результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается внедрением разработанной программы по износу рельсов в технических отделах дистанций пути, применением апробированных методов исследования. Полученные результаты не противоречат исследованиям других авторов, приведенным автором в главе 1.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые введенного понятия базовой интенсивности износа рельсов, разработана структурная схема и аналитические выражения для расчета бокового и вертикального износа рельсов с учетом наиболее значимых факторов.

2. На основании комплексных экспериментальных и теоретических исследований установлены количественные значения и закономерности изменения интенсивности износа в зависимости от категорий качества рельсов, радиуса кривых участков пути, уровней непогашенных ускорений, периодичности лубрикации, продольного профиля пути и массы поездов, конструкции экипажных частей подвижного состава и величин осевых нагрузок, типа применяемых промежуточных рельсовых скреплений.

3. Разработана научно обоснованная методика прогнозирования износа рельсов различных категорий качества для определения количественных величин бокового и вертикального износа в разных условиях эксплуатации.

4. Разработан алгоритм определения контактно-усталостной повреждаемости рельсов до образования трещин на поверхности катания. Разработана конечно-элементная модель прокатки вагонного колеса по рельсу, которая позволила установить, что компоненты тензора напряжений на поверхности рельса находятся в непропорциональном многоосном напряженном состоянии, и обосновать использование деформационной модели многоосной усталости Брауна – Миллера для прогнозирования повреждаемости рельсов.

5. Разработана методика определения контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов с учетом деградации механических свойств поверхности катания рельсов от пропущенного тоннажа.

6. Установлены причины формирования поперечного профиля рельса, отличного от требуемого в соответствии с ГОСТ51685- 2013, путем исследования геометрических параметров режущего инструмента фрезерных колес по результатам измерений кассет с твердосплавными пластинами на

координатно-измерительной машине Fusion 6 фирмы FARO.

5 Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

1 Разработаны и подготовлены к утверждению «Нормативы интенсивности износа рельсов разных категорий качества».

2 Разработана и подготовлена к утверждению «Методика прогнозирования износа рельсов различных категорий качества в зависимости от условий эксплуатации».

3 Для автоматизации расчета износа рельсов разработана программа для ЭВМ «Программа расчета интенсивности износа рельсов различных категорий качества в зависимости от условий эксплуатации».

4 Для определения распределений точек контакта колеса с рельсом по поперечному сечению с учетом извилистой траектории движения колесных пар разработано и изготовлено устройство на основе системы технического зрения и предложен алгоритм обработки видеосигналов.

5 Установлены средние значения и статистические характеристики вертикальных и боковых сил, действующих на наружный и внутренний рельсы от разных типов грузовых, пассажирских вагонов и локомотивов в кривых участках пути малого и среднего радиуса, в том числе от грузовых вагонов с осевыми нагрузками 245 и 265 кН. Предложено ранжирование подвижного состава по кластерам в зависимости от диапазона силового воздействия.

6 Разработана и предложена к внедрению методика прогнозирования контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов до образования трещин, позволяющая определять влияние повышенных осевых нагрузок от подвижного состава на снижение ресурса рельсов по контактно-усталостной повреждаемости.

7 Разработаны и переданы на АО «Калужский завод «Ремпутьмаш» мероприятия по совершенствованию технологии фрезерования рельсов, конструкции рабочих органов и измерительной системы рельсофрезерного поезда РФП-1.

6 Соответствие диссертации паспорту научной специальности

На основе выполненных комплексных теоретических и экспериментальных исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения по снижению износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог по пунктам:

пункту 2 - Конструкции верхнего и нижнего строения железнодорожного пути. Основные параметры, направления развития, проектирование, изготовление. Система технического обслуживания и ремонтов

железнодорожного пути. Технология железнодорожного пути. Внедрение результатов исследований;

пункту 5 – «Методы исследования, испытаний и моделирования железнодорожного пути и процессов его взаимодействия с подвижным составом». Объект и область исследований не противоречат паспорту специальности Содержание диссертации соответствует теме диссертации.

пункту 7- Эксплуатационная надежность железнодорожного пути.

7 Апробация работы и публикации

Основные результаты научного исследования достаточно широко доложены, обсуждены и одобрены на 19-ти научно-практических международных и всероссийских конференциях. Диссертация доложена и одобрена на заседании кафедры « Путь и путевое хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ), 2021, 2022).

Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы в 40 научных работах, из них 18 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, 3 патента, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

8 Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, отражает ее структуру и положения, выносимые на защиту. Автореферат по структуре и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

9 Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертационной работы

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной с использованием современных программных комплексов и значительного количества экспериментальных исследований, проведенных в условиях Восточно-Сибирской, Московской ДИ. Автор успешно использует опыт ведущих научных школ в области износа и контактной усталости рельсов, а также опыт зарубежных исследователей. Безусловно положительно оценивая научную работу О.Г. Краснова, следует сделать следующие замечания по ее содержанию:

1 Износ и контактно-усталостная повреждаемость являются двумя взаимосвязанными процессами. От соотношения величин пластической деформации и скольжения доминирует износ или образование КУ-трещин. В главе 1, следовало бы, показать связь между износом и контактно-усталостными повреждениями.

2 В главе 3 при учете влияния лубрикации на износ, следовало бы, расширить номенклатуру смазок, а также учесть пластификаторы, которые имеют достоинства на участках использования подачи песка под колеса.

3 В главе 3 целесообразно учитывать влияние изменение подуклонки от пропущенного тоннажа на изменение интенсивности износа.

4 Контактно-усталостные повреждения интенсивно образуются на поверхности катания внутреннего рельса и боковой грани наружного рельса в кривых участках. Следовало бы, уделить внимание образованию контактно-усталостной повреждаемости рельсов в кривых участках пути малого и среднего радиуса.

5 Для оценки усталостной повреждаемости используется ряд критериев, например критерий Данг-Вана, которые определяют уровни напряженного состояния критической точки. После превышения эквивалентных напряжений в этих зонах происходит накопление контактно-усталостных повреждений. Как указанные критерии используются в настоящих исследованиях контактно-усталостной повреждаемости?

6 В настоящее время СТМ разрабатывается новый высокопроизводительный рельсошлифовальный поезд РШП 2.0 до рабочих скоростей 15 км/час. Из главы 7 не понятны рациональные сферы использования фрезерования и шлифования, причина выбора для исследования метода фрезерования.

7 На графиках зависимости боковых сил от величин уклонов рис. 3.12 и рис.3.13 по осям ординат необходимо указать наименование.

10 Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», по п 10, 11, 13,1 4

В соответствии с п.10 диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

В соответствии с п.11 основные положения и научные результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, включенных в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертационных работ.

В соответствии с п.13 количество публикаций автора, в которых излагаются основные положения и научные результаты диссертации, в полной мере отвечает критериям.

В соответствии с п.14 в диссертации соискатель использует результаты научных работ, выполненных лично или в соавторстве, и отмечает это обстоятельство.

11 Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», по п. 9

Приведённый выше анализ оппонируемой диссертации «Прогнозирование износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов

для условий интенсификации грузового движения» свидетельствует об актуальности, оригинальности, научной новизне и значимости выполненной автором - Красновым Олегом Геннадьевичем работы. Внедрение результатов исследования автора вносит значительный вклад в развитие железнодорожного транспорта Российской Федерации и развитие промышленности страны в целом. Диссертационная работа соответствует научной специальности 2.9.2 Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог по пунктам паспорта специальности: п. 2, 5, 7. Предложенные в диссертационной работе Краснова О.Г. методы, алгоритмы и методики имеют научную новизну, теоретическую и практическую ценность, широко апробированы, имеют значение для развития отрасли знаний в области железнодорожного транспорта в целом и путевого комплекса в частности. Диссертация Краснова Олега Геннадьевича «Прогнозирование износа и контактно-усталостной повреждаемости рельсов для условий интенсификации грузового движения» соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора наук, установленным п.9 «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор, Краснов Олег Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.2 Железнодорожный путь, изыскание, проектирование железных дорог.

Официальный оппонент,
Шаповалов Владимир Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
по специальностям: 01.02.06 –

«Динамика, прочность машин, приборов
и аппаратуры», 05.02.04 – «Трение и износ
в машинах»

профессор кафедры «Транспортные машины
и триботехника ФГБОУ ВО «Ростовский
государственный университет путей сообщения»
344038, г. Ростов -на-Дону, пл. Стрелкового полка
Народного ополчения, д.2

Тел.: +7 (863) 272 62 86, +7(918) 557 50 80
e-mail: tmt@rgups.ru

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный
университет путей сообщения»



В.В. Шаповалов

Подпись

Шаповалова В.В.

УДОСТОВЕРЯЮ

Зам. Начальника Управления логистики
ФГБОУ ВО РГУПС

«13 » 09



Э.Н. Кирсанова