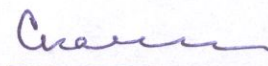


Закрытое акционерное общество Научная организация  
«Тверской институт вагоностроения» (ЗАО НО «ТИВ»)  
170003, г. Тверь, Петербургское шоссе, 45 г,  
тел., факс (4822) 55-54-32, e-mail: [info@tiv.ru](mailto:info@tiv.ru)

Утверждаю:

Директор Закрытого акционерного  
общества Научная организация  
«Тверской институт вагоностроения», к.т.н.

  
« 24 » 05



## ОТЗЫВ

ведущей организации Закрытого акционерного общества Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (ЗАО НО «ТИВ») на диссертацию Ефимова Романа Александровича на тему «Оценка тепловых нагрузений цельнокатаного колеса вагона при торможении», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

### 1. Актуальность темы исследования

Отказы колес в эксплуатации всегда рассматривались, как наиболее важная проблема, определяющая безопасность движения, эффективность функционирования железнодорожного транспорта. Решению этой проблемы посвящено много работ ведущих ученых Российской Федерации, а также зарубежных специалистов. Развитие технических средств и математических методов позволили решить целый ряд проблем, например, повышение износостойкости – «твердые колеса».

В последнее десятилетие наблюдается тенденция к внедрению в эксплуатацию колес повышенной твердости (320 – 360 НВ), что позволило увеличить средний пробег колесных пар и сократить число отцепок грузовых вагонов по дефектам, связанным с деформированием и износом металла на поверхности катания вследствие высокого уровня контактных давлений в пятне контакта колеса с рельсом и действия сил трения и качения. Однако количество колесных пар, поступающих в ремонт по термомеханическим повреждениям поверхности катания не уменьшилось.

Современные технические средства неразрушающего контроля позволяют с высокой точностью проводить оценку геометрических параметров колеса, выявлять дефекты. В тоже время, целый ряд процессов протекающих в теле колеса в течение жизненного цикла невозможно оценить техническими средствами. В настоящее время отсутствует приборное обеспечение, позволяющее проводить мониторинг тепловых и деформационных процессов в колесе, в движении которые являются причиной образования различного рода дефектов, отказов колес в эксплуатации.

Таким образом, одной из основных задач при решении безопасности движения на железнодорожном транспорте является поиск наиболее эффективных методов, позволяющих с большой точностью описывать нестационарные тепловые, деформационные и термодформационные процессы, а также изменение структурного состава в колесе на различных этапах жизненного цикла: термическая обработка при изготовлении, тепловые и механические воздействия в эксплуатации, ремонт, восстановление и упрочнение колес. Сегодня отсутствует возможность анализа изменения теплового и деформационного состояния колеса при движении поезда по реальным участкам пути с учетом целого ряда факторов: скоростей движения, профиля пути, типа тормозной колодки, толщины обода и других.

В излагаемой работе рассматриваются вопросы, связанные с тепловыми процессами, структурообразованием и изменением напряженно-деформированного состояния в колесе при торможении.

С учетом изложенного, тему данной работы следует характеризовать как актуальную и важную для развития методов оценки тепловых и деформационных процессов в цельнокатаном колесе при эксплуатации.

## **2. Общая характеристика работы**

Диссертационная работа включает 177 страниц основного текста, в том числе 55 рисунков и 31 таблицу. Она состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы из 114 наименований и 3 приложений в количестве 19 страниц. Общий объем работы составляет 196 страниц машинописного текста.

**Во введении** представлены актуальность работы, научная новизна, цель исследования, теоретическая и практическая значимость работы и другие данные, характеризующие работу, кратко раскрывающие ее содержание и полученные результаты исследований.

**В первом разделе** приведен обзор научных работ в области аналитических моделей расчета температур при фрикционном взаимодействии колеса и тормозной колодки.

Автор отмечает, что основная направленность работ, связанных с анализом тепловых процессов и структурных превращений, охватывает область

исследований, связанных с технологией изготовления, при которой формируется исходное напряженно-деформированное и структурное состояние. При этом проблеме протекания тепловых и термодформационных процессов в колесе в процессе эксплуатации с учетом предыстории нагружений в предыдущие годы уделялось недостаточное внимание.

**Во втором разделе** представлена, разработанная на основе использования численных методов, методика моделирования изменения теплового и напряженно-деформированного состояния элементов конструкций подвижного состава, в том числе, цельнокатаного колеса. Изложены основные принципы построения программного комплекса SANAK. В разделе представлены разработанные автором ряд осесимметричных и объемных конечно-элементных моделей колес с различной формой диска и толщиной обода для проведения многовариантного компьютерного моделирования тепловых и термодформационных процессов. Приведена сравнительная оценка результатов полученных соискателем с данными, представленными в работах других авторов. Хорошая сходимость этих результатов позволяет сделать вывод о возможности применения разработанных методики и моделей для получения объективной оценки тепловых процессов и изменения структурного состава в колесе при торможении в эксплуатации.

**В третьем разделе** представлено описание и обоснование основных факторов, влияющих на интенсивность тепловыделений в период фрикционного контакта пары колесо – колодка и мощность тепловложений в поверхность катания колеса с учетом типа тормозной колодки и толщины обода колеса. В разделе представлены результаты проведенного исследования закономерности изменения по времени значений тепловыделений на поверхности трения колеса с колодкой с учетом текущей скорости движения, типа тормозной колодки, профиля пути, толщины обода колеса, температуры окружающей среды и др.

**В четвертом разделе** представлены результаты применения разработанной методики и конечно-элементных моделей для компьютерного моделирования последовательных торможений поезда с критическими значениями рассмотренных параметров и проведена оценка структурного состава цельнокатаного колеса при реализации данного подхода. Впервые получено численное подтверждение возможности образования закалочных структур на поверхности катания колеса, и условия при которых они образуются.

Кроме того, теоретически доказана возможность кратковременного пребывания закалочных структур в приповерхностных слоях поверхности катания колеса после торможения с последующим их распадом при повторных торможениях с меньшей интенсивностью тепловложений.

Моделирование длительного торможения позволило автору провести оценку изменения напряженно-деформированного состояния колеса в течение всего цикла торможения и получить распределение остаточных напряжений во всем объеме колеса после окончания торможения. В момент окончания длительного торможения происходит деформация обода, характер которой можно описать как увеличение диаметра колеса и смещение обода в осевом направлении к центру оси колесной пары, причем для колеса с прямолинейным диском суммарное значение перемещений колес в колесной паре составляет 2,7 мм, а для колеса с прямолинейным – 5,22 мм. На основе анализа полученных результатов сделаны выводы о влиянии деформации колеса на безопасность движения.

### **3. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации**

Диссертация соответствует заявленной научной специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. Содержание диссертации соответствует следующим пунктам области исследований паспорта специальности:

П.1. Эксплуатационные характеристики и параметры подвижного состава, повышение их эксплуатационной надежности и работоспособности. Системы электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Методы и средства снижения потерь электроэнергии.

П.3. Техническая диагностика подвижного состава и систем электроснабжения. Критерии оценки состояния подвижного состава и систем электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Системы автоматизации процессов технической диагностики этих объектов.

### **4. Соответствие автореферата диссертации ее содержанию**

В автореферате кратко изложено основное содержание разделов диссертации. Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации. Основные результаты и выводы по диссертации приведены в заключении автореферата. В автореферате диссертации указаны публикации соискателя по теме диссертации. Рукопись автореферата в целом соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011, а также требованиям п. 25 Положения о присуждении ученых степеней.

### **5. Личный вклад автора в получении результатов исследования**

Личный вклад автора в получение результатов состоит в выполнении всего объема теоретических исследований и апробации основных научных положений. Исследование опирается на большой объем фактического материала, собранного и обработанного лично автором.

По результатам исследования автором опубликовано 10 работ, в том числе 3 статьи в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

## 6. Степень достоверности результатов исследования

Степень достоверности результатов исследования подтверждается корректным использованием методов исследования (теория теплопроводности, метод конечных элементов, компьютерное моделирование, вероятностно-статистический анализ).

Достоверность результатов теоретических исследований также подтверждается приемлемой сходимостью результатов компьютерного моделирования с материалами исследований других авторов и данными экспериментов. Разница между экспериментальными и расчетными данными не превышает 18 %.

## 7. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Работа перспективна в плане повышения долговечности цельнокатаных колес в эксплуатации и этим подтверждается ее теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость результатов заключается в следующем:

- разработаны рациональные конечно-элементные модели цельнокатаных колес с различной геометрией диска и толщиной обода для компьютерного моделирования тепловых и термомодеформационных процессов, а также анализа структурного состава цельнокатаных колес при реализации различных режимов торможения с учетом текущей скорости движения;

- идентифицирована закономерность распределения мощности тепловыделения в паре колесо – колодка в зависимости от текущей скорости движения и тепловых нагрузок на поверхности трения колеса при различных режимах торможения для реальных условий эксплуатации.

- установлены и исследованы закономерности формирования тепловой нагруженности колеса при торможении с учетом различных факторов: типа тормозной колодки, уклона пути, износа обода, скорости движения и других.

Практическая значимость результатов:

- на основе установленной закономерности изменения мощности тепловыделения в паре колесо – колодка в зависимости от текущей скорости движения проведен уточненный анализ изменения теплового и структурного состояния цельнокатаного колеса при различных режимах торможения с учетом особенностей геометрии колеса и уменьшения толщины обода в эксплуатации;

- выполнен анализ структурных превращений в цельнокатаном колесе в результате моделирования нескольких последовательных торможений на участке пути с различным профилем и получено подтверждение возможности образования закалочных структур в

приповерхностном слое обода цельнокатаного колеса в зоне контакта с тормозной колодкой.

– разработанные методика и совокупность конечно-элементных моделей могут быть использованы для оценки тепловых процессов в цельнокатаных колесах при реализации различных режимов торможения на конкретных участках пути, с учетом реализуемых в настоящее время и перспективы повышения скоростей движения и осевых нагрузок.

#### **8. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, имеют важное значение для развития элементов теории моделирования тепловых процессов и структурообразования в цельнокатаном колесе. Результаты работы могут быть использованы в деятельности организаций, проектирующих и производящих цельнокатаные колеса подвижного состава железных дорог, с целью увеличения конкурентоспособности изделия, при определении и обосновании режимов движения подвижного состава на участках пути со сложным профилем, в учебном процессе технических вузов.

#### **9. Новизна полученных результатов**

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана методика моделирования тепловых процессов и структурного состава в цельнокатаном колесе с учетом изменения интенсивности тепловых нагрузений в зависимости от ряда факторов: скорости движения, типа тормозной колодки, уклона пути, толщины обода, температуры окружающей среды, что научно обосновало целесообразность перехода при проведении расчетов от задания постоянного значения тепловложения в колесо в течение всего цикла торможения к переменному значению с учетом всех перечисленных факторов, т.е. нелинейный закон тепловложений в течение всего цикла торможения.

2. На основе разработанных методики и конечно-элементных моделей выполнено многофакторное компьютерное моделирование тепловых процессов в цельнокатаном колесе при различных режимах торможения, а также сочетание последовательных торможений при движении подвижного состава по участку железнодорожного пути с реальным профилем. Впервые расчетными методами доказана возможность образования закалочных структур на поверхности катания колеса в результате торможения, и определены условия при которых они образуются.

3. Исследовано влияние длительного торможения на затяжном спуске на изменение напряженно-деформированного состояния и перемещения элементов конструкции колеса.

### 10. Замечания по диссертационной работе

1. Ряд данных, приведенных в диссертации, автору следовало актуализировать, например статистическую информацию по причинам обточек колесных пар и размерность физических величин, представленных в разделе 3 диссертации.

2. Раздел 3 диссертации, посвященный теоретическим исследованиям, описаниям факторов и результатам моделирования перегружен фактическим материалом в табличной форме, часть которого можно было перенести в приложения, а основную часть усилить описанием физических процессов.

3. При описании закономерности распределения мощности тепловыделения в зависимости от текущей скорости движения на поверхности трения колеса автором не описывается ряд допущений, принятых в работе, например, влияние тепловых потоков при торможении в паре колесо – рельс, также в работе не оценивается влияние свойств третьего тела и параметров шероховатости в месте фрикционного контакта.

4. Исследование в работе проводилось для одного типа композиционной тормозной колодки и не представлено исследование влияния свойств материалов тормозных колодок различных композиций.

5. По тексту автореферата и диссертации имеются отдельные неточности и опечатки.

Данные замечания имеют частный характер и не снижают общей научной и практической значимости предоставленной работы.

### 11. Заключение по диссертации о соответствии ее требованиям

#### «Положения о присуждении ученых степеней»

Диссертация Ефимова Р.А., несмотря на приведенные замечания, представляет собой законченную научно-квалифицированную работу, в которой содержится решение задачи повышения надежности цельнокатаного колеса на основе изучения закономерности тепловых процессов в паре трения колесо – колодка при эксплуатации, которая имеет существенное значение для развития железнодорожного транспорта и экономики страны в целом.

Основные научные результаты диссертации Р.А. Ефимов опубликованы в рецензируемых научных изданиях, что соответствует п. 11 Положения о присуждении ученых степеней. Автореферат в полной мере соответствует содержанию диссертации.

В своей диссертации Р.А. Ефимов ссылается на авторов источников заимствования материалов, использует результаты научных работ, выполненных им лично и в соавторстве, и отмечает это обстоятельство, что соответствует требованиям п. 14 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной, имеет практическую значимость, результаты обоснованы и достоверны, то есть работа соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Ефимов Роман Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Диссертация рассмотрена и одобрена на совместном заседании лабораторий «Исследование ходовых частей и тормоза вагона» и «Динамико-прочностные испытания вагонов» ЗАО НО «ТИВ» (протокол № 1 от 24.05.2017 г.), диссертация рекомендована к защите.

Заместитель директора

по научной работе ЗАО НО «ТИВ», к.т.н.

 А. А. Юхневский

Заведующий лабораторией

«Динамико-прочностные испытания вагонов»

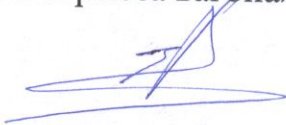
ЗАО НО «ТИВ», к.т.н.

 С. Д. Коршунов

Заведующий лабораторией

«Исследование ходовых частей и тормоза вагона»

ЗАО НО «ТИВ»

 А. В. Зайцев

*Подписи Схачкова А.Н., Юхневского А.А.,  
Коршунова С.Д., Зайцева А.В.*

*завершено*

Заведующая отделом  
кадров ЗАО НО «ТИВ»



*Зубцова Л.И.*