

## **О Т З Ы В**

официального оппонента на диссертационную работу  
Мустафаева Юрия Кямаловича на тему: «Динамика ходовых частей  
вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар»,  
представленную на соискание учёной степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и  
электрификация (технические науки)

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Работа, представленная на оппонирование, посвящена исследованию влияния гироскопических свойств колесных пар, обусловленных их вращением, на динамику ходовых частей вагонов. Очевидно, что с ростом скоростей, такое влияние становится все более существенным. Гироскопические моменты от колёсных пар создают дополнительную нагрузку на узлы вагонной тележки, что необходимо учитывать при расчете её конструкции, что непосредственно влияет на её надежность и безопасную эксплуатацию. Во все времена задачи обеспечения безопасности железнодорожных перевозок, надежности и безотказности подвижного состава и путевой инфраструктуры являлись приоритетными для отрасли и неизменно остаются таковыми на сегодняшний день. Учитывая, что в планах ОАО «РЖД» по развитию отрасли, задокументированных в «Стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга)» значатся такие пункты, как повышение эксплуатационных скоростей грузового и пассажирского подвижного состава, повышение осевой нагрузки, исследование взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры при реализации повышенных скоростей движения, очевидно, что вопросы динамики подвижного состава в указанных условиях требуют дополнительного исследования.

Основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод, что тема представленной диссертационной работы Мустафаева Юрия Кямаловича, связанная с исследованием проявлением гироскопических свойств колёсных пар, обусловленных их вращением, особенно при высоких скоростях движения, является актуальной и направленной на создание инструмента для

дальнейшего исследования влияния указанных факторов на динамику подвижного состава и вопросов взаимодействия в системе «колесо-рельс».

### **Степень обоснованности научных положений, выдвигаемых автором и выводов, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выдвинутые автором, следует отнести, преимущественно, к теоретическим исследованиям в области динамики ходовых частей нетягового грузового подвижного состава. Они были сформулированы на основании известных методов и способов теоретической механики и динамики подвижного состава. Практическая реализация моделей связана с использованием приемов вычислительной математики и систем компьютерной алгебры.

Приведенные в диссертации научные положения, выводы и результаты можно считать логически и теоретически обоснованными.

### **Достоверность и научная новизна результатов, полученных автором**

Основные выводы и результаты расчетов прошли сравнение с известными экспериментальными данными и были оценены как достоверные, максимальное отклонение расчётных параметров от экспериментальных не превысило 7%.

Совокупность научных положений, результатов и предложенных автором методик можно расценивать как комплекс решений, направленных на повышение безопасности эксплуатации подвижного состава железных дорог.

В качестве пунктов научной новизны можно отметить следующие:

1) Разработана математическая модель движения колесной пары с коническим бандажём по прямолинейному участку рельсового пути с учётом упругого продольного и поперечного проскальзывания при наличии гироскопического влияния.

2) Получены уравнения свободных колебаний вращающейся колёсной пары, включающие в себя гироскопические слагаемые. Получено частотное уравнение и сделан вывод о влиянии поступательной скорости экипажа на изменение собственной частоты крутильных колебаний колесной пары.

3) Разработана методика, позволяющая оценить дополнительную динамическую нагруженность буксовых узлов, вызванную воздействием

гироскопических свойств вращающейся колесной пары, а также оценить влияние таких параметров как жесткость и коэффициент демпфирования на величину возникающей реакции.

4) Разработана математическая модель тележки грузового вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар, позволяющая комплексно учесть различные механические воздействия, в том числе и гироскопические моменты.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов**

В качестве теоретической и практической значимости исследования, проведенного автором, для железнодорожной отрасли можно отметить следующее:

1) Теоретически обосновано изменение длины волны извилистого движения колёсной пары

2) На основе полученного частотного уравнения появляется возможность определения критических частот и, следовательно, критических скоростей движения, а также обоснованного выбора рациональных значений параметров конструкции, позволяющих вывести критические частоты в зону неэксплуатационных скоростей.

3) Методика оценки динамических буксовых реакций позволяет оценить динамические силы, воздействующие на буксовые подшипники, а также выработать теоретическое обоснование для выбора упруго-демпфирующих параметров буксовой ступени подвешивания, позволяющих снизить вибронагруженность буксовых подшипников.

4) Разработанная автором математическая модель динамики трехэлементной тележки грузового вагона позволяет комплексно оценить влияние конструкционных параметров и характеристик элементов тележки, что позволит обоснованно выбирать требуемые параметры, а также анализировать результаты натурных испытаний.

### **Объем, структура и содержание диссертационной работы**

Представленная автором диссертационная работа структурно состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Общий объем работы состоит из 184 страниц, 160 из которых относятся к основному машинописному тексту, приложения представлены на 24 страницах. Графическое сопровождение текстового материала отражено

на 59 рисунках. Библиографический список содержит 151 наименование использованных источников.

**Во введении** отражена актуальность работы, степень разработанности темы исследования, сформулированы основные цели и задачи работы, обосновывается теоретическая и практическая значимость исследований, методология и методы исследований, приведены научные положения, выносимые на защиту, их научная новизна, степень достоверности и апробация результатов.

**Первая глава** посвящена анализу научных работ и результатов по теме динамики подвижного состава, оценены направления работ основных научных школ и коллективов, работающих в данном направлении. Приведён обзор конструкции объекта исследования и неисправностей, возникающих при его эксплуатации. Сделаны выводы и построена программа дальнейших исследований.

**Вторая глава** работы посвящена исследованию динамики одиночной колёсной пары в разных постановках задач, которые объединяет основная цель работы – учёт гироскопических свойств. Решена задача синтеза дифференциальных уравнений движения колёсной пары с учетом продольного и поперечного крипа, проведено сравнение решения полученной системы уравнений с кинематическим решением Клингеля, а также с результатами опытных поездок. Отмечена удовлетворительная сходимость полученных теоретических результатов с эмпирическими данными. В качестве отдельной теоретической задачи проводится исследование малых колебаний колесной пары в буксовых опорах с различной жесткостью в продольном и вертикальном направлениях. Выявлено и теоретически обосновано явление изменения собственной частоты крутильных колебаний колёсной пары с ростом скорости движения экипажа, отмечено, что при некотором сочетании параметров возможен резонанс в зоне эксплуатационных скоростей. Приводится методика оценки динамических реакций буксовых опор. Оценено влияние таких отклонений, как дисбаланс колёсной пары, эллиптичность и несоосность колес на величину динамических реакций буксовых узлов в диапазоне эксплуатационных скоростей.

**Третья глава** посвящена разработке математической модели динамики трёхэлементной тележки грузового вагона, к которой конструктивно можно отнести целое семейство тележек с несвязанными боковыми рамами. При составлении уравнений динамики был применён метод теоретической механики, основанный на синтезе системы дифференциальных уравнений

движения с помощью уравнений Лагранжа II рода. Отмечено, что для учёта гироскопических свойств в уравнение кинетической энергии достаточно включить слагаемые, учитывающие вращение колёсных пар. Для учёта работы фрикционного клинового гасителя колебаний основного рессорного комплекта автором были предложены уравнения, учитывающие элементарную работу сил трения при относительном перемещении поверхностей трения.

**В четвертой главе** поясняется методика численного решения полученной в предыдущей главе системы из 30 дифференциальных уравнений движения ходовых частей грузового вагона. Определены исходные данные и начальные условия интегрирования, приведенные в табличной форме. Проведен ряд численных экспериментов, направленных на исследование адекватности разработанной модели и влияния различных отклонений в конструкции и со стороны содержания пути на динамические характеристики ходовых частей вагона.

**В заключении** сформулированы выводы, соответствующие поставленным задачам исследования. Приводятся практические результаты и рекомендации, следующие из результатов работы. Намечены направления и перспективы дальнейших исследований.

Представленная диссертационная работа представляет собой самостоятельно выполненное автором научное произведение, изложенное доступным и грамотным техническим языком, имеющее логически связанные переходы между параграфами и главами, в котором приведены научные результаты, имеющие существенное значение для развития железнодорожной отрасли.

Текст диссертации и автореферата по структуре изложения и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11 – 2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления»

### **Реализация результатов работы**

Результаты диссертационного исследования в виде методики и программы численных расчетов передана для использования в «Уральское конструкторское бюро вагоностроения» г. Нижний Тагил, о чем имеется акт об использовании результатов диссертации.

Теоретические результаты диссертационной работы используются в учебном процессе СамГУПС при подготовке будущих специалистов

железнодорожного транспорта, о чем имеется акт о внедрении результатов в учебный процесс.

### **Публикации по теме исследования и апробация результатов работы**

Список авторских публикаций по теме исследования состоит из 14 печатных работ, из которых 4 статьи включены в список рекомендованных ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертационного исследования.

Основные результаты диссертационной работы получили публичное обсуждение на различных научно-практических конференциях и семинарах, среди которых можно отметить следующие: международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы трибологии», Самара: СамГТУ, 2011г.; III научно-технический семинар «Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ», Брянск: БГТУ, 2016; серию международных научно-технических конференций «Наука и образование транспорту», Самара: СамГУПС, 2016 и последующие годы; Научный марафон, посвященный 30-летию со дня основания факультета «Подвижной состав и путевые машины», «Подвижной состав: современные тенденции и перспективы развития транспортной отрасли», Самара: СамГУПС, 2019 г. и ряд других научных мероприятий.

### **Замечания по диссертационной работе**

По сути проведенного исследования и его представления имеются следующие замечания.

1. В первой главе имеется общий обзор исследований по теме работы, однако, не приведены конкретные результаты, полученные в этих исследованиях, непосредственно относящиеся к теме проводимого исследования.
2. В п 2.1 диссертации получены уравнения движения (2.36), которые в приведенном виде являются незамкнутыми, так как содержат силовые параметры, ряд из которых не определен при синтезе указанных уравнений. Требуется пояснить, каким образом задавались эти параметры при выполнении численного решения, результаты которого приведены на рисунке 2.4

3. В п. 2.2 при выполнении расчетов, результаты которых приведены на рисунке 2.8 выбраны параметры горизонтальной и вертикальной жесткости, существенно отличающиеся от принятых в дальнейших расчетах, выполненных в п. 2.3 и 2.4. При этом не сказано, как и на основании чего были выбраны значения этих параметров.
4. При определении динамических реакций буксовых узлов в п.2.4 и в модели тележки, разработанной в главе 3 не учитывается воздействие от нажатия тормозных колодок.
5. В п.3.2 для каждого элемента тележки задается собственная система координат, содержащая углы поворота. При этом использовано две разных последовательности задания этих углов: первая – для колёсных пар и надрессорной балки, вторая – для боковых рам. Чем обосновано такое решение? Не является ли оно избыточным?
6. В главе 4 проводятся расчёты, используемые для сравнения полученной автором модели трехэлементной тележки с результатами ходовых испытаний грузовых вагонов на соответствующих тележках. Однако, очевидно, что модель динамики тележки должна также учитывать воздействие от кузова вагона, передаваемое на ходовые части через подпятник и скользуны надрессорной балки. Из текста работы не совсем ясно, как автором учтены указанные факты.
7. Имеются общие замечания к форме представления результатов численных расчетов, отличающейся от принятых в динамике подвижного состава норм, отраженных в различных нормативных документах, к примеру, в «Нормах для расчета и проектирования вагонов...».
8. По тексту диссертации имеются незначительное количество опечаток, орфографических и пунктуационных ошибок.

В целом, не смотря на отмеченные недостатки, работа оценивается положительно, а сами замечания не вносят существенных корректировок в выдвинутые научные положения и результаты, полученные автором.

#### **Заключение о соответствии диссертации требованиям «Положения о присуждении учёных степеней»**

Диссертационная работа Мустафаева Юрия Кямаловича на тему «Динамика ходовых частей вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар» отвечает требованиям, выдвигаемым к диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, установленными

«Положением о присуждении ученых степеней», утверждённых постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 01.10.2018, с изменениями от 26.05.2020), а именно:

п. 9 – представленная автором диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития отрасли знаний, связанной с динамикой подвижного состава;

п. 10 – диссертационная работа подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, имеются рекомендации по использованию научных выводов, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку;

п. 11 – основные научные результаты диссертации в полной мере отражены в рецензируемых научных изданиях;

п. 13 – автором опубликовано 14 работ, из которых 4 работы опубликованы в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук и соответствуют научной специальности, по которой автором защищается диссертация.

п. 14 – в диссертации автор ссылается на авторов и источники заимствования материалов и результатов, использованных в исследовании. Соискатель отмечает факт и обстоятельства использования результатов работ, выполненных в соавторстве.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что представленная на оппонирование диссертация Мустафаева Юрия Кямаловича является законченной научно-квалификационной работой, в которой приведены новые научно обоснованные результаты и методики, направленные на уточнение знаний о динамических процессах в ходовых частях вагонов при реализации повышенных скоростей движения, что имеет существенное значение для развития отрасли железнодорожных перевозок страны.

По актуальности темы работы, объему и содержанию теоретических исследований и полученных результатов диссертация Мустафаева Юрия Кямаловича на тему: «Динамика ходовых частей вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар» соответствует критериям «Положения о присуждении учёных степеней», а её автор заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата технических наук по



специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки).

**Официальный оппонент:**

Петров Геннадий Иванович, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта», профессор, доктор технических наук по специальности 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. Почтовый адрес: 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство».

доктор технических наук,  
профессор

Петров Геннадий Иванович

Подпись профессора Петрова Г.И. заверяю:



Начальник  
СЦППКВК  
С Н КАРКИН

## ОТЗЫВ

официального оппонента  
кандидата технических наук Саидовой Алины Викторовны  
на диссертационную работу Мустафаева Юрия Кямаловича  
«Динамика ходовых частей вагона с учётом гироскопических свойств  
колёсных пар», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 05.22.07 –Подвижной состав железных  
дорог, тяга поездов и электрификация

### 1. Общая характеристика работы

Рассматриваемая диссертационная работа содержит введение, 4 главы, заключение, список литературы, 2 приложения и изложена на 184 страницах машинописного текста, содержит 5 таблиц и 59 рисунков. Список литературы состоит из 151 наименования, из них 14 работ, опубликованные автором (в том числе в соавторстве), 4 из них в изданиях, рекомендованных ВАК, и 15 ссылок на зарубежных авторов на языке оригинала.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, выделены объект, область, методы и методология исследования, определена цель работы, ее научная новизна, достоверность, теоретическая и практическая значимости, сформулированы основные результаты и научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** произведен обзор и анализ работ в области решения задач динамики подвижного состава, подходов к составлению уравнений движения экипажа, рассмотрена степень изученности вопроса влияния гироскопических свойств колесных пар на динамическое поведение вагонов. На основании проведенного анализа сформулирована цель, поставлены задачи и выбраны методы исследования.

**Вторая глава** посвящена разработке математической модели движения колесной пары, упруго связанной с ходовой частью вагона, при наличии упругого проскальзывания (продольного и поперечного крива) в контакте колеса с рельсом и с учетом гироскопических свойств самой колесной пары. С использованием модели колесной пары как ротора в неравноупругих опорах получены выражения ее собственных частот колебаний в горизонтальном и вертикальном направлениях, исследовано влияние на эти частоты величины жесткости буксового узла. Проведено сравнение возникающих горизонтальных и вертикальных динамических реакций в буксовых узлах для двух математических моделей колесных пар – с учетом и без учета гироскопических свойств.

Адекватность и точность разработанной математической модели проверялась на базе компьютерной модели колесной пары, разработанной в среде имитационного моделирования в программном комплексе

«Универсальный механизм», путем расчета возникающих на критических частотах резонансных колебаний, способствующих возникновению динамических добавок к реакциям в буксовых узлах.

**В третьей главе** на базе предложенной математической модели движения одиночной колесной пары автор разработал полноценную модель тележки вагона, состоящую из 5 твердых тел, с 30-ю степенями свободы. Приведены формулы для определения полной кинетической и потенциальной энергии тележки, подробно описана модель пути и фрикционного гасителя колебаний.

**В четвертой главе** автором разработан алгоритм и программа численного расчета сформированной системы дифференциальных уравнений. Подтверждена адекватность модели работы фрикционного гасителя колебаний. С целью сокращения времени расчетов проведена линеаризация дифференциальных уравнений движения тележки, показавшая для упрощенной модели достаточную точность расчетов характеристик колебательного процесса.

На базе линеаризованной модели тележки исследовано влияние гироскопического эффекта колесных пар на кинематические характеристики деталей тележки (углы виляния колесных пар, надрессорной балки, величин забегания боковых рам в продольном направлении). Показано, что вращение колесных пар в модели с учетом гироскопического эффекта вносит заметное влияние в кинематические характеристики перемещения всех элементов тележки.

Адекватность разработанной модели движения тележки проводилась путем сравнения расчетных и экспериментальных значений показателей динамических качеств тележек моделей 18-100 и 18-578.

**В заключении** сформулированы основные выводы по работе, отражены полученные автором практические результаты и даны рекомендации по снижению динамических сил, возникающих в элементах тележки при резонансных колебаниях колесных пар.

**Два приложения** (23 страницы) содержат листинг программы по расчету динамического поведения тележки грузового вагона, разработанной в «Mathematica», а также акт об использовании результатов диссертационной работы в ООО «Уральское конструкторское бюро вагоностроения».

## **2. Актуальность темы диссертационной работы**

Расчетные модели движения железнодорожных экипажей по рельсовому пути, различные теории взаимодействия колес с рельсами, исследования динамического поведения вагонов проводятся и разрабатываются уже длительное время, начиная практически с момента создания железнодорожного транспорта. Такие задачи всегда остаются актуальными, поскольку с течением времени меняются подходы к проектированию единиц железнодорожного транспорта, решение одних

вопросов влечет за собой возникновение новых, совершенствуются возможности электронно-вычислительной техники по решению уравнений численными методами.

В настоящее время достаточно полно проработаны задачи продольной, поперечной и вертикальной динамики подвижного состава, однако во всех широко используемых теориях и методиках не учтено влияние на динамические качества экипажей гироскопического эффекта колесных пар, проявляющегося на высоких скоростях движения (свыше 100 км/ч).

Таким образом, задача исследования динамических качеств ходовых частей вагона с учетом влияния гироскопического эффекта колесных пар (особенно в условиях поставленной ОАО «РЖД» задачи повышения скоростей движения железнодорожных экипажей) является актуальной.

Решению этой важной научной задачи посвящена диссертационная работа Ю.К. Мустафаева.

### **3. Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация**

В результате выполненных исследований разработаны и подготовлены к внедрению математическая модель колесной пары и тележки грузового вагона с учетом гироскопических свойств колесных пар, методика оценки реакций в буксовых узлах тележки, позволяющие более точно исследовать движение железнодорожных экипажей с точки зрения безопасности и устойчивости.

Таким образом, диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (п. 6 паспорта специальности: «Оценка динамических и прочностных качеств подвижного состава»).

### **4. Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость диссертации заключается:

1) в разработке уравнений движения колесной пары, позволяющих определять траекторию и длину волны извилистого движения колесной пары с учетом ее гироскопических свойств;

2) в установлении математических зависимостей собственных частот колебаний колесной пары с учетом ее гироскопических свойств от скорости движения вагона.

Практическая значимость диссертации заключается:

1) в создании методики оценки резонансных частот колесной пары с учетом ее гироскопических свойств, позволяющей выявить критические скорости движения экипажа;

2) в предложенной методике расчета динамических реакций в буксовых узлах тележки, позволяющей оценить дополнительный вклад в динамическую нагруженность этих узлов за счет гироскопического эффекта вращающихся колесных пар;

3) в разработанной программе расчета показателей динамических качеств тележки грузового вагона с учетом гироскопического эффекта колесных пар, предназначенной для использования на стадии проектирования новых или модернизации существующих конструкций подвижного состава.

Разработанные материалы диссертационной работы используются в производственной деятельности ООО «УКБВ», что подтверждается соответствующим актом, представленным в приложении.

## **5. Оценка положений, выносимых на защиту**

1) Аналитические зависимости частоты и длины волны движения колесной пары в рельсовой колее в функции от ее поступательной скорости с учетом гироскопических свойств и упругого проскальзывания (крипа) в пятне контакта «колесо-рельс».

Автором произведен глубокий анализ разработанных ранее математических моделей, описывающих движение колесной пары и железнодорожного экипажа в целом, показавший, что в существующие уравнения движения могут добавляться различные эмпирические коэффициенты для получения лучшей сходимости теоретических и практических результатов (как, например, поправка Е. Шперлинга к кинематическим соотношениям Клингеля), при этом причина расхождения результатов без поправочных коэффициентов аналитически не установлена. Автором лично получены дифференциальные уравнения движения колесной пары с учетом ее гироскопических свойств, показано, что именно учет гироскопических свойств колесных пар приближает решение уравнений к результатам натурных экспериментов.

2) Математическая модель движения колесной пары как ротора в неравноупругих опорах.

Разработанная автором математическая модель движения колесной пары, рассматриваемой как ротор в неравноупругих опорах, позволила доказать, что на высоких скоростях движения экипажа наблюдаются дополнительные резонансные частоты, которые способствуют появлению динамических добавок к силам, действующим в буксовых узлах тележки. Исключение из уравнений движения гироскопических слагаемых ведет к существенному занижению значений реакций сил в буксовых узлах, что сказывается на точности прочностных расчетов деталей ходовых частей вагонов. Предлагаемая модель обладает высокой ценностью.

3) Методика оценки динамических реакций в буксовых узлах, обусловленных гироскопическим эффектом вращающихся колесных пар.

Методика оценки динамических реакций в буксовых узлах, обусловленных гироскопическим эффектом вращающихся колесных пар, основана на разработанной математической модели движения колесной пары и может использоваться в решении различных исследовательских и проектировочных задачах.

4) Математическая модель динамики тележки грузового вагона с учетом гироскопических свойств колесных пар, позволяющая определять кинематические и динамические параметры всех элементов и узлов тележки на штатных и резонансных режимах эксплуатации.

На базе математических зависимостей, полученных для одиночной колесной пары, автор смог разработать математическую модель, описывающую динамическое поведение трехэлементной тележки грузового вагона (нелинейную и линеаризованную). Модель позволяет исследовать безопасность и устойчивость движения, обладает достаточной достоверностью, что подтверждено сходимостью результатов расчета показателей динамических качеств тележек моделей 18-100 и 18-578 с экспериментальными данными.

## **6. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна**

Обоснованность полученных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных Мустафаевым Ю.К. в своей диссертационной работе, подтверждается публикациями, обсуждением и положительной оценкой их на всероссийских научно-технических конференциях, а также результатами сопоставления теоретических исследований, выполненных автором, с результатами экспериментов и данными, приведенными в работах отечественных и зарубежных ученых. Достоверность полученных результатов исследований подтверждается сходимостью результатов, полученных на основании проведенных расчетов с использованием различных методов и моделей.

Диссертантом достигнута основная цель исследования, а полученные результаты и достоверность общих выводов не вызывают сомнений.

К научной новизне диссертационной работы можно отнести:

- усовершенствованную математическую модель движения одиночной колесной пары, отличающуюся возможностью учета гироскопического момента, возникающего при повороте оси быстро вращающейся колесной пары;

- разработанную методику оценки величин реакций в буксовых узлах колесных пар, учитывающую динамические добавки от гироскопических слагаемых в уравнениях движения колесной пары;

- разработанную компьютерную программу расчета характеристик ходовой части грузового вагона и ее элементов, основанную на математической модели движения тележки с учетом гироскопических свойств ее колесных пар.

## **7. Значимость для науки и практики**

Результаты диссертационной работы являются решением важной научной задачи, актуальной для железнодорожного транспорта в условиях повышенных скоростей движения, заключающейся в достоверной оценке динамических качеств ходовых частей грузовых вагонов.

Усовершенствованные математические модели движения одиночной колесной пары и тележки грузового вагона могут использоваться разработчиками подвижного состава для более достоверной оценки влияния различных параметров на динамические качества железнодорожных экипажей, определения собственных частот колебания колесной пары с целью выработки способов вывода ее резонансных частот в зону неэксплуатационных скоростей движения вагона.

Предложенные в работе методики являются ценными для научно-исследовательских сообществ в области вагоностроения, поскольку позволяют сократить сроки проектирования новых типов ходовых частей грузовых вагонов и объемы натурных экспериментов.

Разработанная программа расчета динамических качеств тележек грузовых вагонов с учетом гироскопических свойств колесных пар находится в использовании в крупном конструкторском бюро ООО «УКБВ», что подтверждает практическую значимость проведенных исследований.

## **8. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации**

Основное содержание диссертации и результаты исследований отражены в 14 печатных работах, из которых 4 опубликованы в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией Минобрнауки Российской Федерации. В печатных работах, указанных в перечне публикаций по теме диссертации, Мустафакв Ю.К. является единоличным автором или одним из основных соавторов.

Материалы диссертации докладывались на научно-технических конференциях: "Вычислительная механика деформируемого твердого тела" (Москва, МИИТ, 2006 г.); «Прикладные математические задачи в машиностроении и экономике» (Самара, СамГУ, 2006 г.); "Актуальные проблемы динамики и прочности материалов и конструкций, модели и методы" (Самара, СамГУПС, 2007 г.); «Актуальные проблемы трибологии» (Самара, СамГТУ, 2011 г.); «Наука и образование транспорту» (Самара,

СамГУПС, 2016, 2017 гг.); «Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ» (Брянск, БГТУ, 2016 г.); на научном марафоне «Подвижной состав: современные тенденции и перспективы развития транспортной отрасли» (Самара, СамГУПС, 2019 г.).

## **9. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации**

Автореферат написан в соответствии диссертационной работой и в полной мере отражает ее содержание. В автореферате представлены основные положения диссертации и полный перечень научных трудов, автором и соавтором которых соискатель является. Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11- 2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации».

## **10. Замечания по диссертационной работе**

Все разделы диссертации можно оценить положительно, так как они выполнены на высоком научном уровне. Вместе с тем при изучении диссертационной работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. В разработанных математических моделях движения колесной пары рассматривается случай одноточечного контакта колеса с коническим профилем катания с рельсом, что упрощенно отражает реальный процесс взаимодействия. При движении экипажей по прямым и криволинейным участкам пути в действительности возникает многоточечный контакт (как на поверхности катания колеса с головкой рельса, так и на гребне с боковой поверхностью головки рельса), и в настоящее время современные программные комплексы по моделированию движения вагонов позволяют это учитывать.

2. В уравнениях движения колесной пары по рельсовой колее учтен продольный и поперечный крип, спин не учитывается. Чем обоснован такой подход, ведь существуют модели и алгоритмы, позволяющие его учитывать?

3. Не очевиден выбор значений жесткости буксового узла колесной пары при исследовании ее влияния на собственную частоту колебаний в зависимости от скорости вращения. В тележке модели 18-100, с которой в четвертой главе диссертации производится сравнение результатов теоретических и экспериментальных данных, жесткость буксового узла существенно выше (в моделях обычно принимают 50-100 МН/м). В работе следовало отталкиваться от существующих тележек с упругими связями колесных пар с боковыми рамами (например, тележки моделей 18-9800, 18-194-1).



4. В работе по результатам анализа влияния гироскопического эффекта колесной пары на частоту ее колебаний в зависимости от жесткости буксового узла не установлены диапазоны скоростей движения, с которых гироскопические свойства начинают проявляться значительно.

5. В диссертационной работе в конечном счете исследованы динамические качества тележки (ходовой части), а не вагона целиком. Адекватны ли полученные результаты при том, что разработанная модель тележки не учитывает влияния колебаний кузова?

6. По тексту диссертационной работы часто встречается термин «модель динамики» - данное понятие не установлено нормативными документами. Не в полной мере раскрыты показатели динамических качеств железнодорожных экипажей (следовало бы употреблять наименование и содержание показателей в соответствии с ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам»).

7. Как следствие предыдущего замечания - не ясно, какое количественное и качественное влияние оказывает учет гироскопических свойств колесных пар на показатели динамических качеств грузового вагона.

8. Верификация разработанной математической модели тележки производилась только по коэффициентам динамической добавки обрессоренных и необрессоренных частей путем сравнения с экспериментальными данными для тележек 18-100 и 18-578. Не проанализированы значения отношения рамной силы к статической осевой нагрузке, коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельса и другим нормативным показателям динамических качеств.

Приведенные замечания не ставят под сомнение основные выводы и рекомендации диссертационной работы, её научную и практическую ценность.

## 11. Заключение

Проведенный анализ материалов диссертации указывает, что по актуальности, содержанию и значимости основных результатов, диссертация Мустафаева Юрия Кямаловича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком и современном научном уровне, в которой изложены научно-обоснованные методики и рекомендации, обеспечивающие решение важных задач проектирования подвижного состава, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие железнодорожного транспорта страны.

Диссертационная работа Мустафаева Юрия Кямаловича «Динамика ходовых частей вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар» соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Вагоны  
и вагонное хозяйство»  
ФГБОУ ВО «ПГУПС»

1  
2

А.В. Саидова

Контактная информация:

Саидова Алина Викторовна – кандидат техн. наук (научная специальность 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Адрес: Россия, 190031, Северо-Западный федеральный округ, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9

Факс: +7 (812) 315-26-21

Почта: dou@pgups.ru

Подпись руки  
А. В. Саидовой  
удостоверяю.  
Итого