

## **ОТЗЫВ**

**на автореферат диссертации Мустафаева Юрия Кямаловича  
«Динамика ходовых частей вагона  
с учетом гироскопических свойств колесных пар»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.22.07**

**«Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»**

При эксплуатации грузового и пассажирского подвижного состава наиболее приоритетным является обеспечение безопасности перевозочного процесса, которая зависит от надежности конструкции вагона и его устойчивости при движении на различных участках железнодорожного пути (прямая, кривые и стрелочный перевод). Современные подходы к проектированию нового подвижного состава (компьютерное моделирование движения экипажа, оценка прочности конструкции численными методами) позволили более детально проанализировать влияние различных конструктивных и эксплуатационных факторов подвижного состава на его динамические характеристики и безопасность движения. Тем не менее, частота возникновения неисправностей в эксплуатации остается достаточно высокой. С целью достоверного прогнозирования сроков контроля и ремонта отдельных узлов для конкретной тележки необходимо учитывать совокупность таких факторов, как загрузка вагона, конструкционные параметры тележки, допустимые отклонения конструкции, состояние окружающей среды, а также модель возмущающего воздействия от заданного участка пути. При этом, остается не до конца изученным вопрос влияния гироскопических эффектов от вращающихся колесных пар на динамику ходовых частей вагона. В связи с этим диссертационное исследование Мустафаева Ю.К., посвященное исследованию гироскопических свойств колесных пар, является актуальным.

**Для обоснования перспективного направления** по использованию математических моделей, описывающих движение экипажа по рельсовому пути, в работе представлен обзор и анализ отечественных и зарубежных исследований по влиянию различных факторов на динамику подвижного состава и взаимодействие колесной пары и рельсового пути, который показал, что гироскопические моменты, возникающие при вращении колесных пар, приводят к дополнительной разгрузке колеса, увеличению угла набегания, и, следовательно, повышению вероятности вкатывания колеса на рельс, особенно это становится актуальным при движении экипажа с большими скоростями.

**Автором диссертации проведены исследования** по определению функциональных зависимостей, позволяющих определить траекторию и длину волны извилистого движения колесной пары с учетом ее гироскопических свойств и упругого проскальзывания в пятне контакта колеса с рельсом,



получены математические зависимости собственных частот колебаний колесной пары от скорости движения вагона и разработана методика оценки резонансных частот колесной пары, разработана модель и методика оценки динамических реакций буксовых узлов, обусловленных гироскопическим эффектом вращающихся колесных пар.

**В исследованиях соискателем широко использованы** современные методы компьютерного моделирования движения вагона, подходы, основанные на теории вероятности и математической статистики, приведена графическая иллюстрация зависимостей различных параметров, характеризующих взаимодействие экипажа и пути, в том числе амплитудно-частотная характеристика реакций в элементах тележки.

**Отдельный раздел диссертационной работы посвящен** аналитическим исследованиям с применением численного моделирования движения тележки грузового вагона с учетом гироскопических свойств колесной пары, при которых была проведена оценка влияния прохождения экипажем детерминированной вертикальной неровности на различных скоростях на отклонение фазовой траектории от невозмущенной. Адекватность разработанной математической модели подтверждена сходимостью результатов расчета и эксперимента на основе коэффициента вертикальной динамики необрессоренных и обрессоренных масс для тележки грузового вагона модели 18-100 и 18-578 соответственно при движении по периодической неровности длиной 25 м и амплитудой 24 мм. С использованием математической модели и методов компьютерного моделирования соискателем разработана программа расчета динамики тележки грузового вагона с учетом гироскопических свойств вращающихся колесных пар, применение которой позволит более детально проводить анализ зависимостей конструктивных параметров тележки на динамические качества вагона, а также сократить сроки проектирования новых типов ходовых частей грузовых вагонов за счет сокращения необходимого объема натурных экспериментальных исследований.

**Однако, несмотря на** имеющиеся многочисленные достоинства работы, в ней обнаруживаются и отдельные недостатки, которые серьёзно не влияют на представленные выводы и результаты:

1. Для проверки адекватности разработанной математической модели движения грузового вагона с учетом гироскопического эффекта колесных пар было проведено сравнение результатов расчета и эксперимента для тележек 18-100 и 18-578 в изношенном состоянии, при этом из автореферата не вполне ясно, какие при этом учтены износы и какое влияние оказывают гироскопические свойства колесных пар на динамические качества экипажа при рассмотрении тележек в новом состоянии. Также для анализа результатов сравнения



моделирования и эксперимента необходимо уточнить, какие рассматривались участки движения вагона (прямая и кривые различных радиусов).

2. На основании разработанной математической модели тележки грузового вагона автором проведена оценка гироскопических свойств колесных пар на динамические качества экипажа, при этом из автореферата не ясно был ли проведен анализ влияния наличия дефектов на поверхности катания колес на характер проявления гироскопического эффекта.

**Несмотря на приведенные замечания**, анализ автореферата позволяет сделать вывод, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью. Основные положения проведенных исследований нашли отражение в 14 публикациях, в том числе 4 работы в научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Диссертационная работа в полной мере соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Мустафаев Юрий Кямалович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Ведущий научный сотрудник  
ООО «Всесоюзный  
научно-исследовательский  
центр транспортных технологий»,  
кандидат технических наук  
197046, Россия, г. Санкт-Петербург,  
Петроградская набережная, д.22, лит. А, пом. 38-Н  
тел.: 8 (812) 655-59-10  
e-mail: agusev@tt-center.ru

07.06.2021 г.

\_\_\_\_\_  
Артем Владимирович  
Гусев

Подпись А.В. Гусева заверяю:





## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Мустафаева Юрия Кямаловича  
«Динамика ходовых частей вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и  
электрификация

Повышение уровня безопасности движения грузовых вагонов является одним из приоритетных направлений в деятельности компании ОАО «РЖД» и представляет собой комплекс мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения факторов угрозы жизни и здоровью пассажиров, сохранности перевозимых грузов, сохранности объектов инфраструктуры и подвижного состава железнодорожного транспорта, экологической безопасности окружающей среды.

Взаимодействие колес подвижного состава и рельсового пути – основополагающий физический процесс при движении локомотивов, вагонов и поездов по железным дорогам. Условие взаимодействия в системе «колесо-рельс» оказывает существенное влияние на сроки службы и организацию содержания основных устройств пути и подвижного состава, на эксплуатационные затраты железных дорог. В связи с этим работы связанные с изучением и повышением безопасности движения подвижного состава с учётом гироскопических свойств колёсных пар, являются актуальными.

В диссертационной работе Мустафаева Ю.К. уделяется внимание таким важным вопросам безопасности движения грузовых вагонов, как динамика ходовых частей с учётом гироскопических свойств колёсных пар и упругого проскальзывания (крипа), разработке математической модели колёсной пары как ротора в неравноупругих опорах и методики оценки динамических реакций в буксовых узлах, обусловленных гироскопическим эффектом вращающихся колёсных пар.

Научная новизна работы состоит в:

- 1) разработке математической модели тележки грузового вагона, которая в отличие от существующих, учитывает гироскопические свойства колёсных пар;
- 2) получение аналитической зависимости и проведении оценки частот собственных колебаний вращающихся колёсных пар при постановке задачи как вращающегося ротора в упругих опорах с анизотропной жёсткостью;
- 3) разработке методики позволяющей провести оценку влияния статического и динамического дисбаланса на амплитуду и характер вынужденных колебаний колёсной пары при учете её гироскопических свойств, впервые проведена оценка вклада гироскопических сил в общую динамическую нагруженность буксовых узлов;
- 4) получение аналитической зависимости влияния гироскопических свойств одиночной колёсной пары на траекторию извилистого движения при различных скоростях движения.

К наиболее значимым в теоретическом и практическом отношении результатам, полученным автором, следует отнести программу расчёта динамики тележки грузового вагона с учётом гироскопических свойств вращающихся колёсных пар, позволяющую проводить анализ зависимостей конструкционных параметров тележки на динамические и ходовые качества вагона, а также сократить сроки проектирования новых типов ходовых частей грузовых вагонов за счет сокращения необходимого объема натурных экспериментальных исследований.

Диссертационная работа, выполненная в такой последовательности и постановке сегодня актуальна, имеет теоретическую и практическую значимость, которая в достаточной степени подтверждена и апробирована в 14 печатных работах, из них 4 – в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Диссертация выполнена на достойном научно-техническом уровне. Вместе с тем возникают вопросы по исследованию:



- 1) Математическая модель динамики тележки грузового вагона (стр. 13), применяется только для тележки мод. 18-100 или может применяться для всего модельного ряда (например, 18-9810 и 18-9855 с билинейной силовой характеристикой рессорного подвешивания)?
- 2) На рисунке 12 (стр. 17) приведены результаты сравнения расчетного и экспериментального значений коэффициента вертикальной динамики. Гораздо логичнее было показать сходимость результатов для обрессоренных и необрессоренных масс одной модели тележки.
- 3) Аналитические зависимости получены с учетом крипа в пятне контакта «колесо-рельс» с применением линейной теории крипа Картера. Между тем сейчас широко используются нелинейные зависимости, полученные Де Патером, Боммелем, Калкером, и реализованные в программных комплексах в виде моделей Шена, алгоритма Fastsim.

В целом диссертационная работа представляет собой завершённую научно-квалификационную работу на актуальную тему, обладает научной новизной и практической ценностью, удовлетворяет требованиям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Мустафасев Юрий Кямалович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Старший преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»  
федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Иркутский государственный университет  
путей сообщения»,  
кандидат технических наук  
тел.: 8 (3952) 63-83-53  
e-mail: ermolenko\_iy@list.ru

Ермоленко Игорь Юрьевич

Заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство»  
федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Иркутский государственный университет  
путей сообщения»,  
кандидат технических наук, доцент  
тел.: 8 (3952) 63-83-53  
e-mail: t38\_69@mail.ru

Тармаев Анатолий Анатольевич

Почтовый адрес: ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15). Тел.: 83952638399.



## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Мустафаева Юрия Кямаловича  
**«Динамика ходовых частей вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар»,**

представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Диссертационная работа Мустафаева Ю.К., направленная на исследование взаимодействия вращающихся колёсных пар и элементов конструкции тележки грузового вагона, анализ её динамических характеристик, является актуальной и решает задачу, вносящую существенный вклад в развитие железнодорожного транспорта Российской Федерации.

Вопросами совершенствования конструкции тележек, отысканию рациональных параметров конструкции с целью повышения скоростей движения и осевых нагрузок занимаются многие профильные предприятия железнодорожного машиностроения. В рамках проводимых мероприятий большое внимание уделяется обеспечению долговечности подшипников буксовых узлов и обеспечению прочности ходовых частей вагона в целом.

Автором исследованы вопросы влияния гироскопических свойств вращающихся колесных пар на динамические реакции, возникающие в буксовых узлах. Разработаны методики определения критических скоростей движения экипажей по условию совпадения резонансных частот в возмущающим воздействием. Разработанная автором математическая модель трёхэлементной тележки позволяет учесть влияние гироскопических эффектов от колёсных пар наряду с остальными факторами, что позволяет выполнить исследование картины динамического и силового взаимодействия элементов конструкции.

Однако по автореферату имеются следующие вопросы и замечания:

1) В работе получены уравнения движения колёсной пары, упруго связанной с ходовыми частями экипажа, как данный факт относится к реальной конструкции связи колесной пары с рамой тележки грузового вагона, имеющей в буксовых связях зазоры?

2) На стр. 11 автореферата сказано «... следует вывод, что влияние гироскопических свойств на изменение собственной частоты колебаний колёсной пары действительно имеет место и особенно ощутимо при высокоскоростном движении», однако в автореферате не удалось найти численное значение (процент) влияния учета гироскопических свойств.



3) Автором преимущественно рассматривается устаревшая тележка модели 18-100, в то время как на сети железных дорог происходит процесс её вытеснения новыми более совершенными тележками.

Данные замечания носят рекомендательный характер и не снижают значимости достигнутых автором научных результатов.

По совокупности материалов, представленных в автореферате, можно сделать вывод, что диссертация, выполненная на тему «Динамика ходовых частей вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар», выдвигаемая на соискание учёной степени кандидата технических наук, представляет собой завершённое, самостоятельно выполненное научное исследование, отвечающее требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, утвержденных Постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а её автор, Мустафаев Юрий Кямалович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки).

Кандидат технических наук, доцент, И.о. заведующего кафедрой «Транспорт железных дорог»  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточных государственный университет путей сообщения».  
Диссертация защищена по специальности 05.04.02 «Тепловые двигатели»  
Адрес: 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47  
тел.: 8 (4212) 407076  
e-mail: mv@festu.khv.ru

Яранцев Максим Владимирович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспорт железных дорог» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточных государственный университет путей сообщения».  
Диссертация защищена по специальности 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог тяга поездов и электрификация»  
Адрес: 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47  
тел.: 8 (4212) 407076  
e-mail: otonich@festu.khv.ru

Трофимович Виталий Владимирович



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Мустафаева Юрия Кямаловича «Динамика ходовых частей вагона с учетом гироскопических свойств вагона», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки)

Частота возникновения неисправностей трехэлементных тележек грузовых вагонов остается достаточно высокой, так как динамические процессы, протекающие при движении вагона, до сих пор остаются не вполне изученными. Необходимо отметить, что при больших скоростях поезда, не учитывается гироскопический момент колесных пар на динамику и виброн нагруженность ходовых частей вагона.

Задачи динамики подвижного состава, в привычном понимании, принято делить на продольную, вертикальную и поперечную динамику с учетом взаимодействия пары колесо-рельс.

В настоящее время нашли применение специализированные программные пакеты моделирования динамики произвольных механических систем, которые позволяют исследовать динамику всех элементов тележки с учетом их упруго-демпфирующих свойств. Вследствие этого поиск новых решений по исследованию динамики ходовых частей вагона с учетом гироскопического момента колесных пар является актуальной задачей.

В работе раскрыто состояние вопроса, сформулированы цель и задачи исследований.

Заслуживают внимания проведенные автором исследования, при помощи которых выявлены два принципиально различающихся подхода к составлению математической модели динамики тележки и экипажа, а также проведен синтез математической модели ротора для расчета динамических реакций узлов вращающейся колесной пары с анализом влияния гироскопических свойств на нагруженность буксовых узлов.

Разработана математическая модель динамики тележки грузового вагона.

Мустафаевым Ю. К. разработан алгоритм и программа численного расчёта системы дифференциальных уравнений Лагранжа второго рода, моделирующих движение звеньев тележки грузового вагона, при этом выявлено существенное ускорение без снижения точности расчетов.

Автором проведена оценка влияния гироскопического эффекта вращающихся колесных пар на кинематические характеристики звеньев тележки при моделировании прохождения одиночной вертикальной неровности, при которой выявлено что поведение модели сходно с поведением моделируемого объекта.

Кроме того, в работе имеются рекомендации по оценке вклада возмущающих факторов на общепринятые критерии безопасного движения.

Результаты исследований апробированы в производственных условиях и внедрены в учебный процесс, что подтверждает практическую значимость работы.

По работе имеются замечания:

Из автореферата непонятно насколько критичным является оценка влияния гироскопических свойств для ходовых частей вагона в диапазоне эксплуатационных скоростей, так как в одном из выводов было сказано, что



влияние гироскопических свойств на изменение собственной частоты колебаний особенно ощутимо при высокоскоростном движении.

Также, из автореферата непонятно насколько критичным является влияние гироскопических свойств в буксовых узлах колесных пар, так как при рассмотрении вопросов прочности, в том числе и усталостной, имеет место средняя техническая скорость, которая не находится в интервале повышенных скоростей движения.

В то же время, возможно, эти вопросы в работе рассмотрены полностью.

Несмотря на указанные недостатки, диссертационная работа Мустафаева Юрия Кямаловича соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Мустафаев Юрий Кямалович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки).

Управляющий директор  
АО «РМ Рейл Инжиниринг»,  
кандидат технических наук



С. А. Раловец

Полное наименование организации: АО «РМ Рейл Инжиниринг», 430006  
Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Лодыгина, 3  
Контактные данные: тел.: 89856437020, e-mail.: sergey.ralovets@rmrail.ru



## ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертации Мустафаева Юрия Кямаловича

**«Динамика ходовых частей вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

В представленной работе решается актуальная задача моделирования динамики железнодорожных экипажей. Основной отличительной чертой рассматриваемой работы является учет гироскопических свойств вращающихся колёсных пар. Автором предложены различные модели движения колёсной пары, позволяющие теоретически обосновать параметры движения и характерные особенности, связанные с проявлением гироскопических свойств, такие как увеличение длины волны извилистого движения, изменение собственных частот колебаний ротора, увеличение динамических реакций опор при достижении критических скоростей вращения. Указанные явления отражены в поставленных автором теоретических задачах и разработанных математических моделях.

Мустафаевым Ю.К. с учетом гироскопических свойств колёсных пар разработаны расчётная схема тележки грузового вагона, математическая модель тележки в виде уравнений движения, полученных на основе уравнений Лагранжа 2 рода. Учитывая сложность полученных нелинейных дифференциальных уравнений, исследование движения выполнялось, в основном, численными методами. С целью упрощения математической модели автором произведена частичная линеаризация уравнений движения, что позволило упростить анализ результатов интегрирования и заметно снизить временные затраты на получение численных решений при весьма близком совпадении результатов, получаемых на базе исходной нелинейной математической модели.

Научная новизна представленной работы заключается в решении впервые проблемы анализа и оценки вращающихся колёсных пар на динамику ходовых частей вагона с учетом влияния гироскопических свойств вращающейся пары.

Практическая ценность результатов работы заключается в возможности использования разработанных автором моделей, расчётных схем и методик для дальнейшего анализа взаимодействия ходовых частей вагона при повышенных скоростях движения с учётом гироскопических свойств колёсных пар, что является в настоящее время актуальной и мало изученной задачей.

Данная диссертационная работа многократно на разных этапах подробно обсуждалась на научном семинаре кафедры теоретической механики Самарского университета. Докладам предшествовала экспертиза, которую выполняли ведущие доктора наук университета по смежным специальностям. На заключительном этапе работа получила полное одобрение кафедры теоретической механики.



Основываясь на результатах исследований, представленных в автореферате, можно сделать следующее небольшое замечание:

- в главе 2 не указаны численные методы, которые применялись при получении численных решений и не даны сравнительные оценки полученных решений.

Тем не менее, указанное замечание не снижает ценности работы, выполненной автором.

В целом, диссертационная работа «Динамика тележки грузового вагона с учётом гироскопических свойств колёсных пар» выполнена на высоком научном уровне, соответствует критериям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Мустафаев Юрий Кямалович, заслуживает присуждения учёной степени по специальности 05.22.07 Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Асланов Владимир Степанович

7  
«28» 06 2021 г.

Почтовый адрес: 443086, г Самара,  
Московское шоссе, д. 34  
Тел. +7-927-688-97-91  
E-mail: [aslanov\\_vs@mail.ru](mailto:aslanov_vs@mail.ru)

Подпись Асланова В.С. удостоверяю.  
Начальник отдела сопровождения деятельности  
ученых советов Самарского университета