

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

на диссертацию Серякова Кирилла Олеговича

«Улучшение тяговых и динамических свойств локомотива на основе совершенствования его механической части», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.3 Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки)

### **Актуальность темы**

В рамках реализации «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» проводится обновление парка тягового подвижного состава на электровозы нового поколения, которые обладают большей мощностью и обеспечивают вождение поездов повышенной массы и длины. Повышение массы поезда усиливает динамическую нагруженность узлов механической части локомотива и приводит к увеличению износа колес железнодорожных экипажей и рельсов. Одним из основных средств снижения износа колес и рельсов является эффективное рессорное подвешивание, обеспечивающее защиту экипажа от вибрационных воздействий и стабилизацию силы воздействия колесных пар на рельсы.

Рессорное подвешивание современных локомотивов заключается в наличии многофункциональных винтовых пружин кузовной ступени и в отсутствии в буксовой ступени рессорного подвешивания листовых рессор. Недостаточный статический прогиб буксовой ступени обрессоривания магистральных грузовых электровозов, а также несовершенство конструкции подвешивания тягового электродвигателя (ТЭД) являются причинами повышения уровня силового взаимодействия локомотива и пути, что, в свою очередь, приводит к нестабильности вертикальных сил воздействия колесных пар на рельсы и, как следствие, к снижению реализуемой силы тяги и повышенному износу колес и рельсов.

Таким образом, задача улучшения тяговых и динамических свойств локомотива на основе совершенствования его механической части является весьма актуальной, а диссертация Серякова К.О., посвященная решению этой задачи, выполнена на актуальную тему.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной степени обоснованы, так как теоретические исследования основаны на методах аналитической механики Лагранжа, теории колебаний и виброзащиты, теории нелинейных дифференциальных уравнений. Математическое моделирование выполнялось с применением программных продуктов Mathcad и Microsoft Excel. Лабораторные исследования проведены на

основе теории подобия и размерностей, и теории планирования эксперимента. Измерения осуществлялись регистратором ускорений Extech VB300. Обработка экспериментальных данных проводилась на основе методов математической статистики.

Достоверность выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждена результатами экспериментов, проведенных в лаборатории ФГБОУ ВО «ОмГУПС», и результатами вибрационных испытаний электровозов, полученными сотрудниками ОАО «НИКТИ» в локомотивном депо ТЧЭ-14 Белово. Расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований составляет не более 11 %.

### **Научная новизна диссертационной работы**

1. Сформированы математические модели вертикальных и продольных колебаний локомотива с типовой схемой буксовой ступени рессорного подвешивания и с усовершенствованной схемой за счет введения компенсирующего устройства, отличающиеся от существующих моделей учетом нелинейной жесткости компенсирующего устройства и влияния проскальзывания колес на тяговые качества локомотива.

2. Разработан метод сравнительной оценки динамических и тяговых качеств электровоза 2ЭС6 с типовым и модернизированным рессорным подвешиванием с учетом выбранных типов возмущающих воздействий, состояния пути и скорости движения локомотива.

3. Предложен способ модернизации узла подвешивания тягового электродвигателя и математическая модель, позволяющая оценить его влияние на динамическую нагруженность ТЭД при прохождении локомотивом криволинейных участков пути.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов и выводов**

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научно-методического аппарата оценки динамических и тяговых качеств подвижного состава за счет разработки новых математических моделей, позволяющих оценить влияние модернизации узла подвешивания ТЭД и буксовой ступени рессорного подвешивания на показатели динамических и тяговых качеств локомотивов.

Практическая значимость диссертации заключается в следующем:

1. Сформированные математические модели вертикальных и продольных колебаний локомотивов серии 2ЭС6 «Синара» и математическая модель узла подвешивания ТЭД реализованы в форме программ расчета показателей динамики на ЭВМ, и позволяют оценить влияние предлагаемых технических решений на показатели динамических и тяговых качеств локомотивов.

2. Предложена усовершенствованная конструкция узла подвешивания тягового электродвигателя, применение которой позволяет улучшить показатели динамической нагруженности ТЭД.

3. Сформирована имитационная 3D модель тягового электродвигателя локомотива, позволяющая проводить исследования напряженного состояния корпуса ТЭД и его опорных узлов с учетом динамических нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации.

4. Обоснована необходимость применения компенсирующих устройств в буксовой ступени рессорного подвешивания магистральных грузовых электровозов серии 2ЭС6 «Синара». Применение компенсирующего устройства позволит улучшить динамические и тяговые свойства локомотива и стабилизировать давление колесных пар на рельсы.

### **Практическая реализация результатов диссертационного исследования**

Технические предложения по совершенствованию узла подвешивания ТЭД и рессорного подвешивания электровоза путем применения в буксовой ступени компенсирующего устройства, способствующие стабилизации давления колеса электровоза на рельс, что позволяет снизить вероятность срыва колеса в режим боксования и обеспечить снижение износа бандажей колесных пар, а также уменьшение нагрузок, действующих на остов ТЭД и его опорные узлы, и повышение надежности моторно-осевых подшипников, рекомендуются к использованию при проектировании, производстве и эксплуатации локомотивов (акт сервисного локомотивного депо «Московка» – филиала ООО «СТМ-Сервис» об использовании результатов научных исследований и разработок в производстве).

Разработанные в диссертации математические модели и программы расчета показателей динамики на ЭВМ, а также имитационная 3D модель тягового электродвигателя локомотива, позволяющая проводить исследования напряженного состояния корпуса ТЭД и его опорных узлов с учетом динамических нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации, приняты к опытному использованию в технологических процессах эксплуатации локомотивов в границах Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» и рекомендуются к использованию при проектировании, производстве и эксплуатации локомотивов (акт Западно-Сибирской дирекции тяги – структурного подразделения Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД» об использовании результатов научных исследований в производстве).

### **Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на IV всероссийской студенческой научной конференции с международным участием «Студент: наука, профессия, жизнь» (Омск, 2017); VI,

VII и VIII всероссийских научно-технических конференциях с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» (Омск, 2021, 2022, 2024); VIII международной конференции «Проблемы механики современных машин» (Улан-Удэ, 2022); XVI, XVII, XVIII и XIX научных конференциях, посвященных Дню Российской науки «Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте» (Омск, 2022, 2023, 2024, 2025); VI, VII и VIII межведомственных научно-практических конференциях «Транспортные средства специального назначения: разработка, производство и модернизация» (Омск, 2022, 2023, 2024); VI всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава (Ремонт и Динамика 23)» (Омск, 2023); IX международной научно-технической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Я. М. Гаккеля и 100-летию создания тепловоза Щэл1 «Локомотивы. Электрический транспорт – XXI век» (Санкт-Петербург, 2024); VIII всероссийской научно-практической конференции «Образование – наука – производство» (Чита, 2024); на заседаниях кафедры «Теоретическая и прикладная механика» ОмГУПС (Омск, 2024, 2025); на заседании постоянно действующего научно-технического семинара ОмГУПС по экспертизе и обсуждению диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук по научным специальностям технических отраслей науки (Омск, 2025).

### **Публикации по результатам исследований**

По результатам проведенных исследований опубликована 31 научная работа, в том числе три научные статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, один патент РФ на изобретение и три программы для ЭВМ.

### **Структура, объем и оформление диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы из 114 наименований, трех приложений и содержит 167 страниц, 66 рисунков, 16 таблиц.

Оформление диссертации и автореферата выполнены согласно требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Материал диссертационной работы изложен ясно и логично, основные положения и выводы по каждому разделу и всей работе аргументированы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и отражает основные положения, выносимые на защиту.

### **Замечания по содержанию диссертационной работы**

1) Не достаточным является подход в обосновании износа бандажей колёсных пар и подвески ТЭД электровоза 2ЭС6 по причине вибрации, рассматривая только статистику их отказов. Дополнительно было бы целесообразным провести анализ отказов узлов и оборудования электровоза 2ЭС6 в зависимости от сезонности.

2) Непонятно почему для оценки воздействия на колесо возмущений со стороны рельса используются модели [27, 43, 55] 1971-го, 1980-го, 1976-го годов соответственно, что подразумевает стыковой путь на деревянных шпалах, тогда как сегодня на магистральных путях используется только бесстыковой путь на железобетонных шпалах.

3) В части возникновения колебаний рассматриваются только вертикальная и продольная динамика электровоза, поперечная динамика не исследуется.

4) Означает ли это, что в используемой модели не рассматривается влияние тележки и наезд гребнем колеса на рельс, а значит – рассматривается только прямолинейный путь, а в криволинейных участках, особенно малого радиуса (где идет основной подрез гребня колеса и боковой износ рельса), рассматриваемая модель слабо применима (см, например, рис. 2.3 пояснительной записки (п.з.) диссертации)?

5) В математической части с одной стороны, принята гипотеза о малости амплитуд колебаний, позволяющая решать уравнения в постановке задачи Лагранжа, с другой стороны, говорится о вводимой нелинейности жесткости, которая может быть нелинейна только при значительных перемещениях. Хотелось бы понять, как эти два пункта согласуются друг с другом.

6) Почему, например, на странице 75 сначала говорится о нелинейности компенсирующего устройства, а сразу после этого используется формализм передаточной функции, который по определению может применяться только к линейным системам.

7) Достоверность математической модели вертикальной динамики подтверждена натурными испытаниями (расхождение до 10%) и физическим моделированием (расхождение до 11%). В то же время, отсутствуют данные о экспериментальной проверке адекватности математической модели продольной динамики.

8) Хотя в разделе математического моделирования приведен перечень допущений, не в полной мере раскрыты граничные условия и критерии применимости разработанных моделей для экстремальных режимов эксплуатации (например, движение в различных климатических условиях, а также при значительном износе пути). Это может ограничивать область корректного применения разработанных методик.

9) В работе рассмотрена статистика отказов механического оборудования электровозов серии 2ЭС6 и установлено, что основная масса дефектов механической части приходится на опорные узлы тяговых электродвигателей и

бандажи колесных пар. Однако, автором не представлены прогнозы изменения показателей надежности (например, наработки на отказ и т.д.).

10) В тексте п.з. диссертации повсеместно применяется слово «корпус» двигателя электровоза 2ЭС6, хотя правильно использовать слово «остов» тягового двигателя электровоза.

11) На стр. 20 п.з. диссертации рис. 1.5 не корректно представлен. Название рисунка содержит слово по «месяцам», однако на рисунке они не обозначены, отсутствует анализ сезонности.

12) На стр. 23 п.з. диссертации приведена формула (1.2), на основании которой автор утверждает, что данными параметрами входящие в формулу можно управлять силой тяги локомотива. Такое утверждение является неверным, более правильным являлось бы утверждение – улучшать тяговые свойства локомотива.

13) В п. 3.3 п.з. диссертации отсутствуют: описание и условия проведения натуральных вибрационных испытаний электровоза 2ЭС10, а также устройства измерения и схема с указанием мест установки датчиков вибраций и их технических характеристик.

14) Физическая модель «одноколесного локомотива» позволяет исследовать колебания, возникающие в подобной системе. Тем не менее, на ней указано «компенсирующее устройство», что без пояснения детальной структуры данного устройства - некорректно.

15) При рассмотрении математической модели ТЭД основной нагрузкой двигателя считается нагрузка от стыков пути и не включает в себя нагрузки от вибраций, вызываемых, например, зубчатой передачей. Как такой подход может быть обоснован с точки зрения применения сегодня в основном бесстыкового пути?

16) В п.з. диссертации отсутствует технико-экономическая оценка предлагаемого компенсирующего устройства локомотива.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

#### **Оценка соответствия диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. п. 9, 10 и 14)**

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. В ней приводятся сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов. В диссертации имеются ссылки на авторов, источники заимствования материалов и отдельных результатов. Отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты. Соискателем отмечается использование результатов научных работ, выполненных лично и в соавторстве, имеются ссылки на соавторов.

Рассмотренная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, направленные на улучшение показателей динамических качеств и повышение тяговых свойств локомотивов за счет совершенствования подвешивания тягового электродвигателя и применения компенсирующих устройств в буксовой ступени рессорного подвешивания, имеющие существенное значение для развития страны.

Диссертационная работа на тему «Улучшение тяговых и динамических свойств локомотива на основе совершенствования его механической части», представленная Серяковым К.О., обладает научной новизной и практической ценностью. По актуальности темы, объему и содержанию теоретических и экспериментальных исследований она соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года.

Серяков Кирилл Олегович достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.3 Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Транспортное машиностроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ИрГУПС)

доктор технических наук, профессор



О. В. Мельниченко

Мельниченко Олег Валерьевич – доктор технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы». Номер и серия диплома: ДНД № 002914. Дата выдачи: 21.12.2017.

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15, ИрГУПС,

тел.: +7902-170-2437; e-mail: melnichenko\_ov@irgups.ru; keps@irgups.ru



Я, Мельниченко Олег Валерьевич, официальный оппонент, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Серякова Кирилла Олеговича, и их дальнейшую обработку.



О. В. Мельниченко