

## УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе  
федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего образования  
«Уральский государственный  
университет путей  
сообщения», к.т.н., доцент

  
С. В. Бушуев

« 26 »  2024 г.

В диссертационный  
совет 44.2.003.01,  
созданный на базе  
ФГБОУ ВО «Омский  
государственный университет  
путей сообщения»

К. Маркса пр., д. 35, г. Омск,  
Омская обл., 644046

## ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» на диссертационную работу Слатина Анатолия Игоревича «Совершенствование методов диагностирования токоприемников электрического транспорта», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

### 1. Актуальность темы диссертации

Согласно "Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года", утвержденной Правительством РФ, планируется увеличить транзитные перевозки, повысить энергетическую эффективность и внедрить ресурсосберегающие технологии. Одним из приоритетов является улучшение показателей электроподвижного состава, включая токоприемники. Для этого предполагается снижение массы и размеров узлов токоприемников, но модернизация требует изменений в контактной сети и вызывает сложности с совместимостью старых составов. Токоприемники на линиях постоянного тока 3,3 кВ, длиной более 82 тыс. км, испытывают высокие нагрузки и нагрев. Алюминиевые сплавы, используемые в их конструкциях, со временем теряют механические свойства, особенно при высоких температурах, что сложно диагностировать дистанционно. При этом внешние проявления теплового разупрочнения практически отсутствуют и сложны для диагностики неразрушающими дистанционными способами, поэтому тепловая деградация может привести к внезапным отказам в работе токоприемника.

Поэтому диссертация Слатина А. И., посвященная разработке и совершенствованию методов контроля теплового состояния системы подвижных рам токоприемников электроподвижного состава, выполнена на весьма актуальную тему.

## **2. Новые научные результаты, полученные в диссертации**

1. Предложен научно обоснованный показатель температурной деградации системы подвижных рам токоприемника, отличающийся тем, что для расчета функции нелинейного изменения прочностных показателей рычагов от времени учитываются фактические значения их температуры и продолжительности эксплуатационных режимов.

2. Усовершенствована математическая модель системы подвижных рам токоприемника, отличающаяся тем, что разупрочнение её рычагов под действием нагрева описано в виде переходного процесса между упрочненным и разупрочненным состоянием.

3. Разработан метод расчета срока службы системы подвижных рам токоприемников, отличающийся тем, что накопленное значение тепловой деградации вычисляется с использованием нелинейного преобразователя функции температуры от времени.

4. Предложен усовершенствованный алгоритм для определения температуры системы подвижных рам с помощью тепловизионной матрицы низкого разрешения, отличающийся тем, что для определения в кадре рычагов токоприемника используется свёрточная нейронная сеть.

5. Усовершенствована методика экспериментального определения жесткости системы подвижных рам токоприемников в лабораторных и натуральных условиях, отличающаяся тем, что жесткость определяется как функция от частоты затухающих колебаний верхнего узла системы подвижных рам.

## **3. Научная и практическая значимость диссертации**

По результатам выполненной диссертационной работы следует выделить основные теоретические положения и практические результаты, представляющие определенную ценность для решения научно-технических задач разработки и применения новых систем мониторинга состояния токоприемников электроподвижного состава. Теоретической и практической значимостью обладают следующие результаты диссертационной работы:

1. Предложенный научно обоснованный показатель температурной деградации системы подвижных рам токоприемников позволит прогнозировать

остаточный срок службы и таким образом, снижать затраты, связанные с внезапным выходом из строя.

2. Усовершенствованная математическая модель и метод расчета теплового износа системы подвижных рам позволит на этапе проектирования более точно определять интервалы регламентных работ и срок службы токоприемников, повысить достоверность расчетов показателей жизненного цикла электроподвижного состава.

3. Предложенный усовершенствованный алгоритм для определения температуры системы подвижных рам с помощью тепловизионной матрицы низкого разрешения позволит повысить энергетическую и информационную эффективность автономных систем диагностики токоприемников, снизить затраты на дооснащение электроподвижного состава системами мониторинга.

4. Усовершенствованная методика экспериментального определения жесткости токоприемников позволит включить проверку данного параметра в перечень регламентных работ при техническом обслуживании электроподвижного состава, снизить количество отказов без значительного увеличения трудовых и временных затрат во время эксплуатации.

5. Усовершенствованное устройство для определения температуры системы подвижных рам токоприемника и технология эксплуатации могут быть использованы для повышения работоспособности электроподвижного состава на железных дорогах.

#### **4. Обоснованность и достоверность результатов исследования**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной степени обоснованы, так как при решении поставленных задач теоретические и экспериментальные исследования проведены на основе методов теории расчета токоприемников электроподвижного состава, планирования эксперимента, математической статистики, математического моделирования. Использовались аналитические и численные методы аппроксимации и сглаживания экспериментальных данных, математические и имитационные методы моделирования, метод динамического измерения твердости.

При расчетах и анализе математических зависимостей применялись лицензионные программные продукты: электронные таблицы *Microsoft Excel*, пакет прикладных программ *MATLAB*, среда комплексного моделирования *SolidWorks*.

Для обработки данных автором использовались методы планирования эксперимента, корреляционный и регрессионный анализ, аппарат искусственных

нейронных сетей. Достоверность основных научных положений и результатов обеспечивается корректностью математических формулировок и подтверждается качественным совпадением и приемлемой сходимостью результатов теоретического и физического моделирования, расхождение между которыми не превышает 10 %.

## **5. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Научная значимость полученных автором диссертации результатов базируется на теоретических подходах, позволяющих за счет разработанных технических, технологических и методологических решений обеспечить повышение надежности работы токоприемников электроподвижного состава за счет совершенствования методов диагностики токоприемников путем применения устройств контроля температуры нагрева системы подвижных рам и проверки поперечной жесткости токоприемника.

В рамках диссертационной работы предложен метод мониторинга температурного состояния элементов токоприемника с применением тепловизионной камеры с болометрической матрицей низкого разрешения, обеспечивающей уменьшение потока информации до уровня, приемлемого для практического применения в течение времени автономной работы устройства между заходами ЭПС на техническое обслуживание.

## **6. Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Предприятиям, выполняющим проектирование токоприемников электроподвижного состава – научно обоснованный показатель температурной деградации системы подвижных рам токоприемников; усовершенствованную математическую модель и метод расчета теплового износа системы подвижных рам; усовершенствованный алгоритм для определения температуры системы подвижных рам с помощью тепловизионной матрицы низкого разрешения.

Предприятиям, производящим и эксплуатирующим электроподвижной состав – методику экспериментального определения жесткости токоприемников и усовершенствованное устройство для определения температуры системы подвижных рам токоприемника и технологию его эксплуатации.

Научным организациям, направление деятельности которых связано с совершенствованием системы токосъема – математическая модель и метод расчета теплового износа системы подвижных рам токоприемника.

Высшим учебным заведениям, осуществляющим подготовку инженеров по специальностям 23.05.05 – «Системы обеспечения движения поездов» и 23.05.03 – «Подвижной состав железных дорог», – усовершенствованный метод диагностирования токоприемников электроподвижного состава.

## **7. Внедрение результатов диссертационной работы**

Предложенная усовершенствованная методика экспериментального определения жесткости токоприемников электроподвижного состава в лабораторных и натуральных условиях внедрена в ООО «ИЦ «Привод-Н» при проведении исследовательских испытаний. Разработанная математическая модель разупрочнения рычагов системы подвижных рам токоприемника под действием температуры внедрена в ООО «С Электротранспорт» при разработке показателей назначения новых конструкций токоприемников. Фактическое использование результатов диссертационной работы подтверждено актами внедрения.

## **8. Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика» (Алматы, 2018), на десятом и 11 международных симпозиумах «Eltrans» (Санкт-Петербург, 2019, 2023), на всероссийской научной конференции «Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте» (Омск, 2020), на всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы проектирования и эксплуатации устройств электроснабжения электрического транспорта» (Омск, 2023), на расширенном заседании кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПСа (Омск, 2023), на международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития научных исследований: теоретический и практический взгляд» (Стерлитамак, 2024), на международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения, инновации» (Уфа, 2024), на заседании постоянно действующего научно-технического семинара Омского государственного университета путей сообщения по экспертизе и обсуждению диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук по научным специальностям технических отраслей науки (Омск, 2024).

## 9. Публикации по результатам исследований

По результатам проведенных исследований опубликовано 11 научных работ, в том числе четыре научные статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, одна статья издания, индексируемом в международной реферативной базе данных Scopus, один патент РФ на изобретение, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

## 10. Основные замечания по содержанию диссертационной работы

1. В первом разделе диссертации не приведена статистика отказов токоприемников по сети ОАО «РЖД». Делать выводы на основе информации для шведских железных дорог не совсем корректно.

2. Автор заявляет наличие корреляции массы и эксплуатационных показателей токоприемников современных типов (стр. 26 диссертации, рис. 1.7) и применяет термины «Токоприемники с улучшенными свойствами» и «Токоприемники с повышенной металлоемкостью». Следует пояснить, что включают в себя эти определения и для каких токоприемников они применимы.

3. На рисунок 1.7 в диссертации крайне сложно понять какой конкретно токоприемник имеет улучшенные свойства как по току, так и по номинальной скорости, а какой нет. Следует учитывать, что токоприемники для системы постоянного 3 кВ, имеют как правило во много раз больший номинальный ток по сравнению с токоприемниками переменного тока системы 25 кВ 50 Гц и 15 кВ 16,7 Гц. Это означает что сравнивать их по этому показателю не совсем корректно.

4. В таблице 2.1 параметр  $\sigma_{0,2}$  ошибочно назван «предел прочности», а фактически это условный предел текучести или предел пропорциональности.

5. Рисунок 2.9 в диссертации очень трудно воспринимается без непосредственного изображения токоприемника с размеченными на нем узлами, которые соответствуют участкам расчетной схемы.

6. Учтены ли переходные контактные сопротивления между элементами токоприемника (к примеру, между рычагом каретки и полозом) в электрической и тепловой схеме замещения на рисунке 2.9 и в таблице 2.4 диссертации?

7. При расчете теплового потока в зоне контакта полоза с проводом (стр. 44 диссертации) автор вычисляет тепловой поток от трения, применяя усилие прижатия полоза к проводу при значении 200 Н. На каком основании выбрано это значение? Как это соотносится с показателями, казанными в ГОСТ 32204–2013 «Токоприемники железнодорожного электроподвижного состава»?

8. На стр. 71 диссертации автор упоминает о том, что разработано малогабаритное, необслуживаемое, энергоэффективное устройство, способное записывать температуру в режиме «черного ящика» в режиме движения ЭПС

между заходами на техническое обслуживание. Каким образом при этом планируется поддерживать рабочее состояние объектива тепловизионной камеры при наличии воздействий со стороны окружающей среды.

9. На стр. 94 диссертации автор описывает методику проверки поперечной жесткости токоприемника. При неудовлетворительном значении жесткости токоприемник необходимо демонтировать и с помощью специального оборудования установить неисправность. О каком специальном оборудовании идет речь?

Указанные выше замечания не снижают научной ценности диссертационной работы и не влияют на ее положительную оценку.

По результатам обсуждения диссертации «Совершенствование методов диагностирования токоприемников электрического транспорта» принято следующее заключение.

## **11. Заключение**

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.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Содержание автореферата отражает содержание диссертационной работы. Структура и оформление диссертации и автореферата выполнены согласно требованиям ГОСТ Р 7.0.11–2011. Диссертация соответствует научной специальности 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация, отрасль наук – технические.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертация Слатина Анатолия Игоревича «Совершенствование методов диагностирования токоприемников электрического транспорта» является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, направленные на повышение эксплуатационной надёжности и работоспособности токоприемников электроподвижного состава в условиях повышения массы и скорости движения поездов, имеющие существенное значение для развития страны.

По степени научной новизны, объему выполненных исследований и их практической ценности работа соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Слатин Анатолий Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Заключение принято на заседании кафедры «Электроснабжение транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», протокол № 4 от «26» ноября 2024 г.

Заведующий кафедрой «Электроснабжение транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения»,  
кандидат технических наук, доцент



Алексей Анатольевич Ковалев

Профессор кафедры «Электроснабжение транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения»,  
доктор технических наук, профессор



Аржанников Борис Алексеевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.

Телефон: (343) 221-24-44. E-mail: [rector@usurt.ru](mailto:rector@usurt.ru).

Я, Бушуев Сергей Валентинович, утвердивший отзыв ведущей организации, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Слатина Анатолия Игоревича, и их дальнейшую обработку.

Копии Ковалева А.А., Аржанникова Б.А.,  
Бушуева С.В. заверены



С. В. Бушуев