

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Харламова Виктора Васильевича на диссертационную работу Филиной Ольги Алексеевны «Методы и средства повышения надежности щеточно-коллекторного узла тяговых электродвигателей постоянного тока», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

### **1. Актуальность работы**

Одной из основных задач государственной программы Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики», утвержденной до 2030 г. является модернизация, повышение надежности функционирования и переход электротехнических комплексов на новый технологический уровень.

Электротранспортный комплекс с автоматизированным тяговым электроприводом является сегодня ключевым звеном в технологическом цикле перевозки пассажиров и грузов.

Широкое применение тяговых электродвигателей постоянного тока (ЭДПТ) в электроприводе обосновано их высокими энергетическими, механическими и технико-экономическими показателями, при этом их доля на электротранспортных предприятиях составляет более 50%.

Отсутствие надежных, унифицированных и нормированных методик оценки технического состояния, вида и уровня дефектов тягового электродвигателя, приводит к возможности появления ускоренного износа отдельных элементов, таких как щеточно-коллекторный узел ЭДПТ, снижению механических и энергетических показателей с последующим аварийным выходом из рабочего режима электродвигателя в целом.

В связи с этим, диссертационная работа Филиной О.А., посвященная разработке методов диагностирования, аппаратно-программных средств мониторинга дефектов и оценки технического состояния тягового электродвигателя, обеспечения его энергоэффективности и работоспособности, несомненно, актуальна и представляет значительный интерес.

### **2. Оценка структуры содержания диссертационной работы**

Диссертация Филиной Ольги Алексеевны состоит из введения, пяти глав, каждая из которых содержит итоговые выводы, заключения, перечня



основных определений и сокращений, библиографического списка из 148 наименований и восьми приложений. Содержит 175 страниц машинописного текста, включая 65 рисунков и 17 таблиц.

### **Анализ содержания диссертации, ее завершенность**

**Во введении** обосновывается актуальность исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость научных результатов и научные положения, выносимые на защиту, степень достоверности результатов, также сформулированы цель и задачи исследования.

**Первая глава** посвящена анализу проблем контроля технического состояния и условий эксплуатации ЭДПТ железнодорожного и городского подвижного состава. В данном разделе приведены статистические данные об отказах тяговых двигателей, выполнен анализ директивных документов, существующих программ, технических условий. Одним из важнейших условий для повышения ресурса тягового ЭДПТ является объективный мониторинг состояния щеточно-коллекторного узла (ЩКУ) в процессе эксплуатации для принятия своевременных мер для поддержания надежности.

На основе проведенного анализа намечены пути совершенствования конструкции ЩКУ с целью повышения ресурса и увеличения межремонтного пробега подвижного состава.

**Во второй главе** выполнен анализ эксплуатационной надежности тяговых электродвигателей постоянного тока подвижного состава. Выявлены основные причины отказов и неисправностей в межремонтный период. Рассмотрены методы повышения надежности ЩКУ и методы оценки эксплуатационной надежности элементов ЩКУ. Определены основные направления для формирования методики расчета остаточного ресурса щеток тяговых электродвигателей.

**Третья глава** посвящена созданию математической имитационной модели и способа мониторинга вибрации ЭДПТ. Приведены результаты экспериментальных исследований щеточно-коллекторного узла тягового электродвигателя постоянного тока на спроектированном лабораторном стенде и на подвижном составе городского электротранспорта при помощи разработанного способа мониторинга.

**В четвертой главе** рассмотрена усовершенствованная конструкция щеточно-коллекторного узла с рельефной нажимной пластиной и составной щеткой, выполнен сравнительный анализ результатов экспериментальных исследования существующего и усовершенствованного ЩКУ с применением предлагаемого автором способа мониторинга вибрации.



**Пятая глава** посвящена технико-экономической оценке использования усовершенствованного щеточного узла с составной щеткой и рельефной нажимной пластиной, даны рекомендации по усовершенствованию системы планово-предупредительных работ (ППР).

**В заключении** диссертации содержатся выводы и предложения, обобщающие результаты выполненного исследования.

**В приложениях** представлены документы, подтверждающие практическую реализацию диссертационной работы.

### **3. Методология и методы исследования**

Результаты диссертационной работы были получены автором с использованием основных методов теории электрических машин, общих законов электротехники, теории электрической тяги, методов численного и имитационного моделирования в вычислительной среде MatLab, Simulink. Экспериментальные исследования ресурса и изменения параметров ЩКУ получены на разработанном автором экспериментальном стенде и в условиях реальной эксплуатации на электротранспортных предприятиях.

### **4. Новые научные результаты, полученные автором:**

1. Разработана математическая модель для выявления видов отказов щеточно-коллекторного узла с учетом его технических характеристик, влияющих на показатель надежности в процессе эксплуатации.

2. Разработан метод мониторинга вибрации ЩКУ тягового ЭДПТ, который проводится без демонтажа тягового электродвигателя с подвижного состава и фактически может применяться для диагностики состояния основных узлов непосредственно в процессе эксплуатации для своевременного выявления дефектов.

3. Разработан и исследован опытный образец щеточного узла с усовершенствованной конструкцией нажимной пластины и составной щетки, улучшающие конструктивные и технические параметры электродвигателя при проектировании, повышающий качество коммутации и обеспечивающей высокую виброустойчивость щетки.

4. Разработана компьютерная программа по контролю технического состояния щеточно-коллекторного узла тягового электродвигателя постоянного тока по спектрам вибрации и созданы методы, направленные на повышение ресурса щеток в процессе эксплуатации с применением средств оценки технического состояния и отклонений от нормального функционирования.



## **5. Теоретическая и практическая значимость, полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли**

1. Разработана методика оценки технического состояния щеточно-коллекторного узла тягового электродвигателя по амплитудам частот вибрационных колебаний вала якоря, коллектора и подшипников.

2. Выделены и обоснованы критерии безотказной работоспособности тягового электродвигателя в условиях эксплуатации. Разработана компьютерная программа и даны рекомендации, направленные на повышение ресурса щетки.

3. Разработана конструкция рельефной нажимной пластины щеткодержателя, обеспечивающая повышенную виброустойчивость щетки.

4. Создан и реализован специализированный исследовательский стенд и программа, позволяющие в эксплуатационных условиях осуществлять мониторинг ЩКУ без демонтажа тягового электродвигателя с электроподвижного состава.

5. Результаты научных исследований получили внедрение на транспортных предприятиях МУП «Метроэлектротранс» Троллейбусное депо № 2 г. Казань и Сервисное локомотивное депо Юдино-Казанский ООО «ЛокоТех-Сервис» филиал «Западный» п. Юдино.

## **6. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы**

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертационной работы подтверждается использованием теоретических положений, опирающихся на классические труды в области теоретической электротехники, электрических машин, корректностью принятых допущений при теоретических исследованиях, согласованностью результатов математического имитационного моделирования с расчетными данными и результатами численных инженерных экспериментов, положительными результатами внедрения полученных автором диссертации технических решений, позволяющих повысить технико-экономические и ресурсные показатели щеточно-коллекторного узла.

Цель диссертационной работы и вытекающие из нее задачи изложены достаточно корректно, являются практически значимыми и реализуемыми. Теоретической основой диссертационной работы стали труды отечественных и зарубежных ученых в области электрических машин. По приведенным

ссылкам в списке литературы можно сделать вывод о полноте изучения диссертантом рассматриваемых вопросов.

Для оценки достоверности выводов диссертационной работы автором использованы методы математического и компьютерного моделирования тягового электродвигателя, приведены результаты численных экспериментальных исследований с использованием общепринятых программных комплексов.

### **7. Реализация результатов диссертационного исследования**

Основные научные результаты диссертационной работы направленные на повышение эффективности тяговых электродвигателей постоянного тока серии ДК-259, ДК-410 были внедрены в МУП «Метроэлектротранс», г. Казань, а также в Сервисном локомотивном депо Юдино-Казанский, ООО «ЛокоТех-Сервис» филиал «Западный» –на электродвигателях серии ЭД118А в период с 2010 по 2022 года.

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе по дисциплине «Эксплуатация и ремонт электроподвижного состава» на кафедре ЭТК ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

### **8. Публикации по теме диссертации**

Общее количество работ соискателя по теме исследования – 24. Из них соискателем опубликовано шесть статей в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий ВАК Российской Федерации, 11 статей - в научных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science. Получены: один патент РФ на полезную модель, три патента РФ на изобретение, три свидетельства о государственной регистрации Программы для ЭВМ. Публикации автора в полной мере отражают основные результаты исследований, которые были апробированы на научных международных и всероссийских конференциях.

### **9. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации**

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы. В автореферате представлены основные положения диссертации и список работ автора, в которых опубликованы основные результаты диссертационного исследования.



## 10. Замечания по диссертационной работе

1. В таблице 2.3 приведена статистика отказов двигателей постоянного тока подвижного состава за 2019 – 2022 годы. В этой таблице не выделены непосредственно отказы щеточного узла. При этом с мнением автора о том, «... что такие отказы, как межламельное замыкание и пробой коллектора, распай коллектора и круговой огонь обычно вызываются неисправностью ЩКУ и могут быть объединены в единую группу отказов» можно согласиться с некоторыми оговорками.

2. В третьей главе диссертационной работы автор приводит модель колебаний узлов электродвигателя (рис. 3.9) и соответствующую этой модели систему уравнений (3.14). Желательно пояснить: каким образом определялись коэффициенты этой математической модели и как она использовалась при диагностировании узлов тяговых электродвигателей постоянного тока?

3. Автором разработана и исследована усовершенствованная конструкция щеточного узла с использованием нажимной пластины и составной щетки, «...улучшающая качество коммутации и обеспечивающая высокую виброустойчивость щетки». При этом в тексте диссертации нет прямого объяснения этого явления, а уровень вибраций в экспериментальных исследованиях этой конструкции контролировался на щеткодержателе, а не непосредственно на щетке, которая и участвует в процессе коммутации.

4. В таблице 4,3 приведены основные параметры узлов двигателей постоянного тока трамвайного вагона, на которых проводились экспериментальные исследования усовершенствованная конструкция щеточного узла. При этом биение рабочей поверхности коллектора при испытании усовершенствованного щеточного узла снизилось с 0,1 мм до 0,041 мм. Может этим и объясняется снижение уровня вибраций?

5. В тексте диссертации на странице 98 приведены спектры допустимой амплитуды вибрации (рис. 4.26) и спектр амплитуды вибрации предельного состояния ЩКУ (рис. 4.27), но не акцентируется внимание на том, как количественно меняется амплитуда вибрации в контрольных точках по мере износа щетки и меняется ли она вообще?

6. В таблице 4.7 на странице 117 приведены спектры частот неисправностей узлов двигателя постоянного тока. Непонятно, для какого двигателя определены эти спектры, и при какой частоте вращения?



7. В чем, по мнению автора, основные преимущества предложенного перехода от планово-предупредительных работ к обслуживанию по фактическому состояний электродвигателей?

8. В работе имеются орфографические ошибки и погрешности, не меняющие сути работы.

В целом отмеченные замечания не снижают теоретическую и практическую значимость диссертационной работы.

## **11. Общее заключение по диссертации**

Диссертационная работа Филиной Ольги Алексеевны «Методы и средства повышения надежности щеточно-коллекторного узла тяговых электродвигателей постоянного тока» является логичной, последовательно изложенной, завершенной и самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой представлены научно-обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение надежности работы тягового электродвигателя постоянного тока на основе разработки усовершенствованного щеточного узла и внедрения эффективной системы контроля технического состояния, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней».

Отмеченные недостатки не изменяют общей положительной оценки диссертации, которая обобщает достигнутые результаты научной и практической деятельности автора и представляет собой комплексное завершённое исследование, выполненное и написанное автором самостоятельно, обладает внутренним единством, в соответствии с п. 10 «Положения о присуждении ученых степеней».

Согласно п. 11 «Положения о присуждении ученых степеней» основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

В соответствии с п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней» в диссертации автором приведены ссылки на источники заимствования материалов и отдельных работ, а также на результаты научных работ, выполненных лично соискателем ученой степени и в соавторстве.

Считаю, что диссертационная работа Филиной О.А. по своей актуальности, новизне, научной и практической значимости результатов 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 года № 842, а ее автор, Филина Ольга Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 . Электротехнические комплексы и системы.

**Официальный оппонент**

заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения» (ОмГУПС), доктор технических наук, профессор

«03» ноября 2023 г.

 Харламов Виктор Васильевич

«Я, Харламов Виктор Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку».

Доктор технических наук, профессор

 Харламов Виктор Васильевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения» (ОмГУПС)

Почтовый адрес: 644046, г. Омск, пр. Маркса 35

Электронная почта: hvv-omgups@mail.ru

Контактный телефон: 8-913-606-8274.

Подпись заведующего кафедрой «Электрические машины и общая электротехника», д.т.н., профессора Харламова В. В. удостоверяю:

И. о. начальника УКД и ПО



*Анис*

О. Б. Анисимова

*Отзыв получен 13.11.2023*

*М/ Давыдов МА/*

*с отзывами с начальником*

*Ф/ Филина О.А.*