

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Рожкина Бориса Викторовича на тему «Методы обеспечения тепловых режимов дроссель-трансформаторов рельсовых цепей с изолирующими стыками действующей инфраструктуры при вводе тяжеловесного движения»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки)

1 Актуальность избранной темы

Интенсификация перевозочного процесса на основании обращения поездов повышенной массы и длины по «твердым ниткам» графика движения поездов требует безотказной работы элементов инфраструктурного комплекса. Работа устройств с нормативными показателями надежности возможна в случае, если эксплуатационная нагрузка не превышает максимально допустимые значения. Поэтому на этапе расчета наличной пропускной способности происходит выделение лимитирующих элементов – частей инфраструктурного комплекса железных дорог, нагрузка которых превысила допустимый порог при анализируемом графике движения поездов. Лимитирующие элементы проходят плановое усиление перед началом регулярного движения тяжеловесных поездов.

Анализ нормативных источников, на основании которых выполняются расчеты наличной пропускной способности, и выделение лимитирующих элементов показал отсутствие прямых расчетных методов анализа нагрузки на дроссель-трансформаторы путем учета температуры масла. Существующие расчетные методы не позволяют включить в перечень лимитирующих элементов дроссель-трансформаторы участка железной дороги и произвести прогнозную оценку эксплуатационной надежности при ожидаемых размерах движения.

Поэтому актуальность диссертационной работы Рожкина Б.В., посвященной решению важной научно-технической задачи – разработке методов обеспечения тепловых режимов дроссель-трансформаторов рельсовых цепей действующей инфраструктуры при вводе тяжеловесного движения, не вызывает сомнения.

2 Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается и подтверждается:

- корректной постановкой цели и задач исследования и обоснованным применением современных методов их решения;
- достаточно полным отражением в исследовании специфических отраслевых особенностей и системных свойств объекта исследования;
- критическим анализом результатов большого числа исследований, проведенных в выбранном автором направлении;
- изучением и глубоким анализом достаточного круга литературных источников, содержащих исследования отечественных и зарубежных авторов по кластерному анализу и современной теории принятия оптимальных решений;
- корректным использованием, согласно поставленным задачам, математического аппарата и современных программных систем;
- положительными результатами внедрения и апробации результатов диссертационного исследования.

Обоснованность первого научного положения (метода определения значения обратного тягового тока в дроссель-трансформаторе на основе конечно-элементной модели токораспределения в неоднородной рельсовой линии многопутных перегонов) доказана автором анализом недостатков аналитических моделей расчета токораспределения, основанных на символьном решении системы дифференциальных уравнений длинной линии. Расчет растекания тока предложено проводить на основании дискретизации системы дифференциальных уравнений по длине рельсовой линии с применением системы конечно-элементного моделирования Comsol Multyphysics и аппарата решения линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. *Достоверность* положения обусловлена проведенной верификацией. Доказана корректность применяемого математического аппарата, путем сравнения результатов моделирования предложенной и аналитической модели, построенных для одного и того же участка. Рассчитана погрешность модели, при определении значений обратного тягового тока дроссель-трансформатора, путем сравнения с данными измерений, даны исчерпывающие пояснения о причинах отмеченной погрешности. *Новизна* положения характеризуется представлением первичных параметров рельсовой линии функцией координаты, что позволяет проводить анализ токораспределения в неоднородных рельсовых линиях.

Второе научное положение (метод определения средней температуры трансформаторного масла на основе аналитической модели теплового расчета дроссель-трансформатора) утверждает возможность определения средних значений температуры масла дроссель-трансформатора при известных тепловых потерях в токовой обмотке с учетом процессов теплопередачи между элементами конструкции

дроссель-трансформатора и окружающей средой. *Обоснованность* данного утверждения обусловлена анализом подобных методов расчета теплового баланса силовых масляных трансформаторов. Автором предложена аналитическая модель теплового баланса в виде системы линейных дифференциальных уравнений теплового баланса для элементов конструкции дроссель-трансформатора. *Достоверность* второго положения обусловлена сравнением результатов расчета температуры масла дроссель-трансформатора с данными измерений в условиях эксплуатации, погрешность расчетного метода составила порядка 11% и ее причины также объяснены автором. *Новизна* положения заключена в учете процессов теплопередачи между элементами конструкции дроссель-трансформатора и окружающей средой отдельно для каждого вида теплообмена.

Третье научное положение (способ определения эксплуатационной надежности дроссель-трансформатора) утверждает возможность определения интенсивности отказов дроссель-трансформатора с учетом фактической температуры масла и значений обратного тягового тока. Для его *обоснования* разработана регрессионная модель, которая аппроксимировала экспериментальные данные по значениям поправочного коэффициента к интенсивности отказов в зависимости от температуры масла и значений обратного тягового тока. *Достоверность* полученной модели проверена методом анализа остатков модели. Доказано, что остатки модели – это нормально распределенная случайная величина с нулевым средним значением, имеющая однородную дисперсию, и значения остатков не зависят от предсказанных значений. *Новизна* положения заключена в учете свободного члена регрессионного уравнения, которое характеризует естественное старение аппаратуры без учета факторов эксплуатации.

Обоснованность четвертого положения (метод определения достаточности симметрии рельсовой линии для исключения ложной занятости рельсовой цепи из-за насыщения сердечника дроссель-трансформатора) доказана автором разработкой алгоритма определения коэффициента готовности рельсовой цепи по асимметрии обратного тягового тока, аналогично методу, примененному в УРРАН для оценки ущерба от отказов на основе матрицы рисков. *Достоверность* расчетного метода обусловлена корректностью применения математического аппарата теории вероятностей, математической статистики и теории управления рисками. *Новизна* предложенного метода заключается в примененном подходе определения коэффициента готовности, как совместного события, обусловленного наличием допустимых сочетаний значения обратного тягового тока и коэффициента асимметрии, рассмотренные как случайные величины.

Научные положения, сформулированные в диссертационной работе, обоснованы в достаточной степени, что подтверждается проведенным объемом теоретических и экспериментальных исследований, направленных на доказательство адекватности предложенных расчетных моделей и методов. Полученные в диссертации научные результаты обусловлены корректным применением математического аппарата при разработке соответствующих моделей и отражают итоги выполненной работы.

Проведенный объем исследований устойчивости работы дроссель-трансформаторов и рельсовых цепей позволил сформулировать рекомендации для дальнейшего совершенствования методики расчета наличной пропускной способности, путем включения дроссель-трансформатора в перечень лимитирующих элементов. Обоснованность, новизна и достоверность рекомендаций основана на приведенных научных положениях диссертационной работы.

3 Новизна и достоверность полученных результатов

В процессе исследований получен ряд новых научно обоснованных результатов, наиболее существенные из которых:

- показано, что применяемые методы расчета наличной пропускной способности не в полной мере учитывают тепловое воздействие обратного тягового тока на элементы рельсовой цепи – дроссель-трансформаторы, что приводит к нарушению тепловых режимов работы, увеличению отказов рельсовых цепей и снижению технической скорости на участке, – т.е. к снижению пропускной способности участка железной дороги;
- разработана методика определения допустимого межпоездного интервала следования поездов с учетом тепловой нагрузки на дроссель-трансформатор, которая при расчете наличной пропускной способности обеспечивает возможность включения дроссель-трансформатора в перечень лимитирующих элементов;
- разработанные методы расчета эксплуатационной надежности и готовности рельсовой цепи по параметру асимметрии обратного тягового тока создают алгоритмическую базу для дальнейшего развития систем мониторинга рельсовых цепей.

Новизна решений, изложенных в диссертации, обусловлена отсутствием в нормативных материалах по расчету наличной пропускной способности дроссель-трансформатора как лимитирующего элемента, а также неспособностью применяемых систем диагностики рельсовых цепей проводить контроль режимов работы рельсовой линии.

Достоверность научных положений выводов и рекомендаций, изложенных автором в диссертационной работе, подтверждена справкой о внедрении результатов диссертационной работы, выданной ЦКЖТ ФГБОУ ВО ПГУПС и экспертным заключением, подписанным заместителем главного инженера Свердловской железной дороги.

4 Теоретическая и практическая ценность полученных результатов и выводов

Разработанные в диссертации научные положения по обеспечению нормативных режимов работы дроссель-трансформаторов действующей инфраструктуры при вводе тяжеловесного движения позволили создать комплексную систему для подготовки и последующей эксплуатации рельсовых цепей на участках с тяжеловесным движением.

Теоретическая ценность полученных результатов и выводов обосновывается следующим:

- 1) В работе показано, что применение предложенной модели токораспределения в неоднородной рельсовой линии позволяет исследовать аварийные режимы работы рельсовых линий как однопутных, так и многопутных перегонов;
- 2) Применение модели теплового баланса дроссель-трансформатора позволяет проводить анализ термической устойчивости при различных условиях эксплуатации и метеорологических параметров окружающей среды.

Практическая значимость заключается в следующем:

- 1) Метод обоснования допустимых межпоездных интервалов позволяет выделять дроссель-трансформаторы участка, на которых ожидается перегрев масла при планируемых размерах движения, что позволяет запланировать их усиление;
- 2) Разработанные модели позволяют численно оценить эффективность усиления, в виде кратного снижения интенсивности отказов, и определить допустимый межпоездной интервал после усиления элементов рельсовой линии;
- 3) Разработанные алгоритмы, включенные в состав разработанного математического обеспечения, расширяют функциональное наполнение применяемых систем мониторинга и диагностики рельсовых цепей, позволяют контролировать эксплуатационные показатели надежности, сравнивая с нормированным значением готовности, заложенным в расчет наличной пропускной способности.

5 Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Рожкина Бориса Викторовича состоит из введения,

четырёх глав, заключения, списка литературы на 124 наименования, и четырёх приложений. Материалы диссертации изложены на 112 страницах основного текста, содержит 46 рисунков, 17 таблиц и 4 приложения.

В первой главе автор рассматривает особенности работы рельсовых цепей участков электрифицированных по системе 3.3 кВ, проводит анализ применяемых в настоящее время способов учета теплового воздействия и моделей расчета растекания обратного тягового тока, выделяет их недостатки. Проводит анализ существующей технологии обслуживания рельсовых цепей в части контроля асимметрии обратного тягового тока и рассматривает подходы к синтезу систем мониторинга средств автоматики и телемеханики. Делает вывод об отсутствии алгоритмов контроля эксплуатационной надежности рельсовых цепей в области воздействия обратного тягового тока на параметры дроссель-трансформатора как элемента рельсовой цепи. Ставит задачи исследования.

Во второй главе производится разработка моделей расчета растекания тока в рельсовой линии многопутных перегонов с учетом ее неоднородности и теплового расчета дроссель-трансформаторов. Модель расчета растекания тока для учета неоднородного характера рельсовой линии потребовала численного решения системы линейных дифференциальных уравнений. Автором предложено использовать метод конечных элементов для дискретизации системы линейных уравнений линии по пространству, с применением соответствующих программных средств, что снизило временную сложность моделирования и упростило внесение изменений в модель. Модель теплового расчета дроссель-трансформатора представлена в виде системы линейных дифференциальных уравнений теплового баланса однородного с тепловой точки зрения тела, записанных относительно средних температур конструктивных элементов: токовой обмотки, сердечника, масла и корпуса. Источником тепла в системе является джоулевый нагрев токовой обмотки обратным тяговым током. Модель позволяет учесть изменение средних значений температуры элементов конструкции, обусловленных теплообменными процессами внутри дроссель-трансформатора и теплоотдачей с корпуса.

В третьей главе производится формирование списка диагностических параметров для мониторинга рельсовой линии, на основании существующих нормативных требований и критериев ее исправного состояния. Предложены и разработаны алгоритмы расчета численного значения двух новых диагностических параметров: обобщенного коэффициента нагрузки дроссель-трансформатора и коэффициента готовности рельсовой цепи по асимметрии обратного тягового тока. Первый пара-

метр отражает усредненный, по алгоритму среднегармонического значения, поправочный коэффициент к интенсивности отказов и показывает отличие существующей эксплуатационной нагрузки от номинальной. Коэффициент готовности рельсовой цепи по асимметрии обратного тягового тока статистически оценивает вероятность отсутствия ложной занятости рельсовой цепи из-за насыщения магнитопровода дроссель-трансформаторов током асимметрии при текущих значениях обратного тягового тока и коэффициента асимметрии, обусловленных существующими размерами движения, массой составов и качеством содержания рельсовой линии.

В четвертой главе апробирована методика определения температуры масла дроссель-трансформаторов участка при известном графике движения поездов и токе, потребляемом локомотивов из контактной сети, в зависимости от ординаты. Выявлен лимитирующий дроссель-трансформатор участка и определены допустимые межпоездные интервалы по условию обеспечения номинальных тепловых режимов работы. Также в данной главе приведены результаты экспериментальной проверки разработанных во второй главе моделей. Экспериментальные данные получены с использованием усовершенствованного контроллера сигнальной установки системы технической диагностики на базе микро-ЭВМ и программируемых контроллеров (СТД-МПК). Приведены численные значения предложенных диагностических параметров.

Содержание диссертации позволяет констатировать соответствие темы диссертации научной специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки).

6 Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертационной работы, влияние отмеченных недостатков на качество исследования

В первой главе проведен анализ условий работы дроссель-трансформаторов рельсовых цепей на участках, электрифицированных по системе 3.3 кВ постоянного тока при вводе тяжеловесного движения.

1) При этом автор не объясняет причину выбора для анализа системы электрификации на постоянном токе.

Во второй главе автор предлагает проводить моделирование растекания обратного тягового тока в рельсовой линии с применением программных сред конечно-элементного моделирования, а также разрабатывается аналитическая модель теплового баланса дроссель-трансформатора.

2) При этом не обоснован выбор среды конечно-элементного моделирования Comsol Multyphysics;

3) В диссертации проводится анализ влияния неравномерности температурного поля токовой обмотки дроссель-трансформатора на результаты моделирования, но для трансформаторного масла подобный расчет не производится – чем это обусловлено?

В третьей главе:

4) На стр. 71 приведено решающее правило для построения дерева регрессии, при этом из текста диссертации не понятно, какие варианты решающих правил рассмотрены и почему они не были приняты?

В четвертой главе:

5) Автор проводит определение минимального межпоездного интервала движения в пакете поездов с массами составов 6.3–9.0–6.3 тыс. тонн, при этом в работе отсутствует обоснование выбора составов данных масс;

6) На рисунке 4.11 не указаны модули системы диагностики, входящие в состав контроллера мониторинга сигнальной установки системы мониторинга СТД-МПК.

Отмеченные недостатки не ставят под сомнение и не снижают качество исследований, т.к. они не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

7 Соответствие диссертации и автореферата требования ГОСТ Р 7.0.11-2011

Диссертация и автореферат по структуре и правилам оформления соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Оформление списка использованных источников в виде библиографических ссылок соответствует п. 5.6 ГОСТ Р 7.0.11-2011. Оформление библиографического списка в автореферате соответствует п. 9.3 ГОСТ Р 7.0.11-2011 и ГОСТ Р 7.1-2003.

8 Специальность, которой соответствует диссертация

Тема и содержание диссертации «Методы обеспечения тепловых режимов дроссель-трансформаторов рельсовых цепей с изолирующими стыками действующей инфраструктуры при вводе тяжеловесного движения» соответствует научной специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки),

а именно п. 7: «Системы автоматики и телемеханики, предназначенные для управления перевозочным процессом, методы их построения и испытания».

Представленная диссертация написана четким, понятным языком, ясно и логично. По каждому разделу имеются выводы, правильно резюмирующие содержание работы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

9 Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842

Диссертационная работа Рожкина Бориса Викторовича «Методы обеспечения тепловых режимов дроссель-трансформаторов рельсовых цепей с изолирующими стыками действующей инфраструктуры при вводе тяжеловесного движения» соответствует критериям, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 23.09.2013 года:

– п. 9 – диссертация Рожкина Б.В. на соискание ученой степени кандидата наук является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. В диссертации изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития железнодорожного транспорта и, как следствие, для экономики Российской Федерации;

– п. 10 – диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством. Работа содержит новые научно обоснованные результаты и предложения, которые рекомендованы для применения на сети российских железных дорог, а материалы, представленные в научных статьях и на конференциях, свидетельствуют о личном вкладе автора в науку;

– п. 11 – основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и на соискание ученой степени доктора наук;

– п. 13 – автором опубликовано 9 работ, в том числе 6 в научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ.

В диссертации Рожкина Бориса Викторовича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Материалы диссертации в полной мере изложены в работах, опубликованных соискателем ученой степени;

– п. 14 – в диссертации Рожкин Б.В. надлежащим образом ссылается на автора и (или) источник заимствования материалов или отдельных результатов других авторов, а также на научные работы, выполненные автором самостоятельно или в соавторстве.

Представленная диссертация Рожкина Бориса Викторовича «Методы обеспечения тепловых режимов дроссель-трансформаторов рельсовых цепей с изолирующими стыками действующей инфраструктуры при вводе тяжеловесного движения» является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, направленные на совершенствование методов расчета наличной пропускной способности, подготовки участка к тяжеловесному движению и развитие средств технической диагностики и мониторинга рельсовых цепей. Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Рожкин Борис Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки).

Официальный оппонент Исайчева Алевтина Геннадьевна, гражданин РФ, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СамГУПС)

«14» ноября 2019 г. _____ / Исайчева Алевтина Геннадьевна /
кандидат технических наук по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация», доцент
Тел.: +7 (846) 303-75-09
E-mail: aspirantsamiit@rambler.ru
Почтовый адрес: 443066, г. Самара, ул. 1-й Безымянный пер., 18, ауд. 1203

Подпись заверяю