

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Selected abstracts of Ph.D. theses submitted
at Russian transport universities*

*Текст на английском языке, публикуется
во второй части данного выпуска.*

*The text in English is published in the second
part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-17>

Волчанина М. А. Совершенствование методов диагностирования изоляции силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения с применением мобильных технических средств / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Омск: ОмГУПС (ОМИИТ), 2022. – 20 с.

Задача создания условий устойчивого, безопасного и эффективного функционирования железнодорожного транспорта как организующего элемента транспортной системы страны отражена в «Стратегии научно-технологического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга)». Обеспечение надёжной безотказной работы систем электроснабжения, находящихся в эксплуатации на железнодорожном транспорте, соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Анализ данных об отказах силовых трансформаторов тяговых подстанций ОАО «РЖД» показывает, что в основном повреждениям подвержены трансформаторы, срок службы которых соответствует сроку до первого капитального ремонта и составляет около 12 лет. По данным статистики, наиболее повреждаемыми частями силовых трансформаторов, является обмотка – 52 %, повреждаемость вводов – 27 %. Это объясняется тем, что по сравнению с трансформаторами подстанций энергосистем и промышленности силовые трансформаторы системы тягового электроснабжения работают в более тяжёлых условиях.

ГОСТ 52719-2007 «Трансформаторы силовые. Общие технические условия» не даёт точной оценки показателям надёжности для силовых трансформаторов тяговых подстанций электрических железных дорог. В связи с этим при эксплуатации силовых трансформаторов в системе тягового электроснабжения рекомендовано проводить периодически дополнительное диагностирование их состояния. Уровень надёжности системы тягового электроснабжения (СТЭ) непосредственно влияет как на безопасность движения поездов, так и на бесперебойность движения поездов, что особенно важно при прохождении тяжёловесных составов, так как значительно возрастают токовые нагрузки и становятся выше номинальных значений. Применение непрерывных методов диагностирования позволяет определить фактическое техническое состояние и остаточный ресурс силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения. Таким образом, создание технических средств, методик и алгоритмов функционирования мобильных автоматизированных систем диагностирования изоляции силовых трансформаторов является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности эксплуатации силовых трансформаторов в составе системы тягового электроснабжения, путём совершенствования методов оценки технического состояния изоляционных конструкций с применением мобильных средств диагностирования.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Исследовать причины образования и разновидности дефектов изоляционных конструкций силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения и определить методы диагностирования их технического состояния.

2. Определить пороговые значения показателей развития дефектов изоляционных конструкций силовых трансформаторов и обосновать диагностические параметры для определения наличия дефектов.

3. Разработать метод оценки технического состояния изоляции силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения в процессе эксплуатации.

4. Разработать методику определения места возможного образования дефекта изоляции и методику диагностирования состояния вводов силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения на основе измерения параметров электрического поля.

5. Усовершенствовать технологию межремонтных испытаний силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения для обеспечения бесперебойной работы системы тягового электроснабжения.

6. Разработать мобильные технические средства оценки технического состояния изоляционных конструкций силовых трансформаторов и выполнить их апробацию.

В результате проведённых исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, направленные на совершенствование технологии и технических средств диагностирования изоляционных конструкций силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения. Их применение позволит повысить эффективность эксплуатации силовых трансформаторов в системе тягового электроснабжения.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Выполнен анализ причин отказов силовых трансформаторов и существующих методов диагностирования изоляционных конструкций силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения, обоснованы достоинства применения акустических методов контроля с регистрацией параметров частичных разрядов и измерения параметров электрических полей вблизи высоковольтных вводов.

2. Определены пороговые значения показателей регистрируемых сигналов для «Нормального», «Предаварийного» и «Предельного» состояний изоляции по идентификации законов распределения. Указаны параметры сигналов с частичными разрядами и сигналов акустической эмиссии, вызванных механическими воздействиями.

3. Разработан метод обнаружения предаварийного состояния изоляции обмоток силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения в процессе работы с учётом развития дефектов изоляции

в условиях сезонных изменений температуры.

4. Предложена методика определения места образования дефекта изоляции силового трансформатора с учётом скорости распространения акустических импульсов в трансформаторном масле и металлических конструкциях. Нивелировано влияние мешающих факторов на получение данных о текущем состоянии изоляции трансформатора.

5. Разработана методика диагностирования состояния вводов силовых трансформаторов, основанная на анализе данных распределения электрического поля вблизи исследуемых вводов. Выявлено, что отклонение симметрии напряжённости поля в одной фазе более чем на 10 %, свидетельствует о появлении дефектов изоляции.

6. Разработаны мобильные технические средства диагностирования изоляции силовых трансформаторов, в состав которых введён имитатор дефектов, выполняющие измерения параметров акустического сигнала в условиях сезонных изменений температуры. Предложен критерий выявления роста дефекта от нормального состояния в условиях сезонных изменений температуры по значению опорного напряжения имитатора дефектов.

7. Предложена усовершенствованная технология межремонтных испытаний силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения, позволяющая обеспечить бесперебойную работу системы тягового электроснабжения путём выявления предаварийного состояния силовых трансформаторов без их отключения. В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагается проведение исследований, направленных на разработку системы управления цифровой тяговой подстанцией системы тягового электроснабжения, исследование эффективности управляющих воздействий на основе сигналов различных подсистем диагностирования состояния изоляционных конструкций силовых трансформаторов.

2.9.3. – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Омском государственном университете путей сообщения.



Журавлёв А. Н. Повышение эффективности работы тепловозного газодизеля путём регулирования соотношения воздуха и топлива в цилиндрах / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Самара: СамГУПС, 2022. – 20 с.

Снижение расходов на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) является одним из приоритетных направлений развития локомотивного комплекса ОАО «РЖД» и предприятий промышленного железнодорожного транспорта. Использование альтернативных видов топлива, таких как водород, природный газ и др., позволяет снизить расходы на ТЭР при условии обеспечения устойчивой работы силовой установки во всём диапазоне рабочих режимов и обеспечении регулирования требуемого соотношения топлива и воздуха в цилиндрах. Наиболее привлекательным с экономической точки зрения и оптимальным по временным затратам техническим решением является модернизация действующих силовых установок тепловозов для работы по смешанному циклу, например, газодизельному. Отечественный опыт перевода силовых установок тепловозов на газодизельный цикл показал невозможность обеспечения устойчивой (без пропуска воспламенения топлива в цилиндре) работы на режимах холостого хода и малых нагрузок (до 40 % от номинальной мощности) из-за нестабильной подачи запальной порции дизельного топлива и низкой объёмной концентрации газа в цилиндре, поэтому на этих режимах осуществлялась подача исключительно дизельного топлива.

В диссертации исследованы показатели работы силовой установки, оборудованной устройствами дросселирования рабочего тела, при отключении части цилиндров для решения проблемы обеспечения требуемых условий для воспламенения природного газа во всем диапазоне рабочих режимов.

Цель исследования – обеспечение устойчивой и экономичной работы газодизельного двигателя маневрового тепловоза на режимах холостого хода и малых нагрузок путём регулирования соотношения воздуха и топлива в цилиндрах. Для достижения поставленной в работе цели сформулированы и успешно решены следующие задачи:

1. Выполнено исследование и проведён анализ особенностей реализации газодизель-

ного цикла применительно к тепловозным силовым установкам.

2. Предложена уточнённая математическая модель расчёта показателей работы тепловозной силовой установки при переводе её на газодизельный цикл работы.

3. Выполнен расчёт определения диапазона изменения сечения дроссельной заслонки, при котором обеспечивается устойчивая работа силовой установки.

4. Определено количество работающих цилиндров, при котором обеспечивается устойчивая работа силовой установки под нагрузкой.

5. Разработан алгоритм управления сечением дроссельной заслонки и количеством работающих цилиндров силовой установки локомотива.

6. Выполнена технико-экономическая оценка эффективности внедрения результатов работы.

По результатам проведённых исследований сделаны следующие основные выводы:

1. Анализ особенностей реализации газодизельного цикла применительно к тепловозным силовым установкам показал, что существует проблема воспламенения газа на низких позициях контроллера машиниста, связанная с нестабильной подачей малого количества запальной порции топлива и низкой объёмной концентрации газа. Наиболее выгодным с точки зрения минимального вмешательства в штатные системы двигателя решением проблемы является применение устройства дросселирования воздуха на входе в двигатель, а также отключение части цилиндров.

2. Разработанная уточнённая математическая модель рабочего процесса тепловозного дизеля при работе его по газодизельному циклу с дросселированием воздуха на входе во впускной коллектор и отключением части цилиндров позволяет дать количественную оценку изменения показателей работы газодизельгенераторной установки в зависимости от сечения дроссельной заслонки и количества работающих цилиндров.

3. В результате исследований установлено, что для обеспечения безопасной работы газодизеля на базе силовой установки 1-ПД4Д маневрового локомотива ТЭМ18ДМ в части сохранения допустимых значений температуры рабочего тела сечение дрос-

сельной заслонки должно изменяться в пределах диапазона 0,004–0,0002 м².

4. По результатам математического моделирования определено количество работающих цилиндров, при котором обеспечиваются допустимые температуры рабочего тела за выпускными клапанами и в выпускном коллекторе перед турбиной: на режиме холостого хода и 1 ПКМ – не менее 2 цилиндров; на 2 ПКМ – не менее 3 цилиндров; на 3 ПКМ – не менее 4 цилиндров.

5. Проведённый комплекс исследований показал, что при дросселировании рабочего тела и отключении части цилиндров возможно обеспечить объёмную концентрацию газа в цилиндре не менее 2,7 %, необходимую для воспламенения газового топлива во всём диапазоне рабочих режимов.

6. Для поддержания в автоматическом режиме объёмной концентрации газа в цилиндре не менее 2,7 % и не превышения допустимых значений температуры рабочего тела на выходе из цилиндров разработан алгоритм, включающий в себя гибкое изменение сечения дроссельной заслонки и цикловой подачи топлива, а также отключение части цилиндров.

7. Применение устройств дросселирования воздуха и отключения части цилиндров при работе по газодизельному циклу обеспечит положительный экономический эффект, величина которого будет зависеть от режимов загрузки двигателя. При реализации нагружения маневрового тепловоза по ГОСТ 34514-2019 годовая экономия эксплуатационных расходов на топливо в сравнении со штатной комплектацией тепловоза составляет 5,3 млн руб. на один локомотив ТЭМ18ДМ.

В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагается уточнение процессов смесеобразования и учёта технических особенностей устройств и способов обеспечения подачи газа и организации работы двигателя по газодизельному циклу.

2.9.3. – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена в акционерном обществе «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), защищена в Самарском государственном университете путей сообщения.

Михайлов С. В. Вертикальные динамические силы в контактах колёс экипажа и рельсов в безбалластной конструкции пути / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2022. – 24 с.

В настоящее время перед железнодорожным транспортом России стоят задачи увеличения массы грузов и скорости перевозок, что требует развития тяжеловесного и высокоскоростного движения. Повышение скорости движения и нагрузки на ось, а также различные климатические условия предполагают применение новых конструкций верхнего строения пути, при условии обязательного сохранения его стабильности. Для решения подобных задач в мировой практике широко распространены безбалластные конструкции, однако проведённые исследования сфер их использования в условиях российских железных дорог продемонстрировали ограниченность их применимости. Таким образом, задача выбора оптимальных конструкций верхнего строения пути для конкретных условий эксплуатации является крайне актуальной, а её решение требует расчёта стоимости жизненного цикла. При этом проведение натурных испытаний весьма затруднительно, и, зачастую, экономически нецелесообразно, что свидетельствует о необходимости применения математического моделирования. Одной из широко используемых на практике при решении данной задачи, является модель колебаний пути как трёхслойной балки, лежащей на модифицированном основании Винклера. Эта модель позволяет получить вероятностные оценки таких характеристик верхнего строения пути, как углы поворота сечений, изгибающие моменты, поперечные силы, прогибы, напряжения в элементах конструкции. Знание подобных оценок позволяет решать задачи увеличения срока службы конструкции, прогнозирования ремонтов верхнего строения пути, исследования поведения конструкции при ударном взаимодействии колеса и рельса, делает возможным оценку вероятности превышения данными характеристиками существующих нормативных значений. Использование данной модели позволяет проводить расчёт средних значений и среднеквадратических отклонений случайных процессов для каждого из рассматриваемых слоёв, что является немаловажным для ряда задач, связанных с исследованием без-



балластных конструкций. Нахождение этих вероятностных характеристик требует расчёта матрицы взаимных спектральных плотностей вертикальных динамических сил, действующих на путь, однако, в настоящее время отсутствует метод её нахождения для модели трёхслойной конструкции, и для решения текущих задач используется приближительная оценка.

Целью исследования является разработка метода прогнозирования срока службы безбалластного пути с учётом вертикальных динамических сил, вызванных неровностями пути в профиле. Для достижения данной цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка метода расчёта матрицы взаимных спектральных плотностей вертикальных динамических сил через неровности пути в профиле в модели трёхслойной балки, лежащей на модифицированном основании Винклера.

2. Получение характеристик случайных процессов изменения прогибов и напряжений в слоях безбалластной конструкции от воздействия вертикальных динамических сил, вызванных неровностями пути.

3. Определение влияния случайных процессов изменения прогибов и напряжений в слоях безбалластной конструкции на срок её службы.

4. Оценка возникающих расхождений между результатами расчётов срока службы безбалластного пути, полученных при помощи предлагаемого метода по сравнению с существующим.

Основные результаты исследования следующие.

1. Разработан метод нахождения матрицы взаимных спектральных плотностей вертикальных динамических сил через неровности пути в профиле в модели колебаний пути, как трёхслойной балки, лежащей на упругом основании Винклера, позволяющий оценить статистические характеристики напряжённого состояния и прогибов в элементах конструкции безбалластного пути.

2. Разработанная математическая и компьютерная модель расчёта срока службы безбалластных конструкций пути с использованием предложенного автором метода может быть использована при расчёте жизненного цикла БКП для различных условий эксплуатации и обосновании целесообразности

применения той или иной безбалластной конструкции либо пути на балласте.

3. Разница в результатах расчёта срока службы безбалластной конструкции пути для существующих условий ВСМ с применением модели однослойной балки и трёхслойной балки составляет порядка 5–10 %;

4. С ростом скорости движения и нагрузки на ось расхождение между результатами расчётов, выполненных с использованием моделей однослойной и трёхслойной балки, увеличивается, и, при достаточно больших значениях данных параметров (более 160 км/ч и 25 т/ось), может превышать 20 %, что в перспективе делает целесообразным использование метода, предложенного в настоящей работе.

5. Предложенная математическая модель и численные расчёты использованы для определения допустимых геометрических размеров бетонной несущей плиты при разработке первой редакции ГОСТ Р «Безбалластный путь высокоскоростных железнодорожных линий. Требования безопасности и методы контроля», а также для формирования предложений по изменению ГОСТ 32698-2014 «Скрепление рельсовое промежуточное железнодорожного пути. Требования безопасности и методы контроля». Результаты расчётов использованы при разработке нового типа рельсового скрепления (заявки на патент № 2022112623, 2022112624, 2022112625, 2022112626, 2022112627 от 11.05.2022).

6. Задачи определения влияния значений случайных процессов изменения прогибов и напряжений с учётом вертикальных динамических сил, поставленные в работе, решены, цель работы по определению срока службы безбалластного пути достигнута.

7. Перспективы дальнейшей разработки данной темы заключаются в проведении расчётов для различных типов экипажей, конструкций пути и условий эксплуатации, применении предложенной модели для статистических оценок случайных процессов, возникающих при расчёте ударного взаимодействия в системе экипаж–рельсовый путь.

2.9.2. – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог.

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

Хмелев А. С. Совершенствование информационного взаимодействия в системах поддержки принятия решений и управления перевозочным процессом сырьевых поставок / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2022. – 18 с.

Металлургические предприятия полного цикла характеризуются значительным объёмом грузоперевозок, большим ассортиментом производимой продукции и сложной производственной технологией. Консолидация всех данных от перевозчика, оператора подвижного состава и металлургического предприятия в единую сеть позволит сотрудникам полностью контролировать логистическую цепь, при этом значительно сокращая объём оперативного взаимодействия.

Цель исследования – совершенствование информационного взаимодействия в системах управления перевозочным процессом сырьевых поставок путём разработки информационной системы поддержки принятия решений в рамках единого пространства для всех участников перевозки. Поставленная цель достигается при решении следующих задач:

1) Анализ текущего состояния теории и практики информационного взаимодействия в системах управления перевозочным процессом между перевозчиком, предприятием и операторскими компаниями и выявление существующих проблем.

2) Исследование технологического процесса перевозки сырьевых грузов для нужд чёрной металлургии.

3) Разработка математической модели и алгоритмов функционирования информационной системы поддержки принятия решений.

4) Определение технико-экономической эффективности решения.

Научная новизна:

1) Разработана методика построения и функционирования информационной системы поддержки принятия решений при организации, управлении и контроле продвижения сырьевых грузов, позволяющая осуществлять сквозной мониторинг всей логистической цепи.

2) Проведён анализ статистических рядов времени хода поездов с коксом доменным на полигоне Заринская–Новолипецк, рассчитаны числовые характеристики случайных величин, проведена оценка на соответствие изучаемых

распределений нормальному, построены стохастические модели прогнозирования прибытия и запасов вагонов.

3) Практически применена концепция единого информационного поля для всех участников перевозочного процесса в области поставок сырьевых грузов чёрной металлургии и предложена математическая модель транспортного обслуживания металлургического предприятия на основе предлагаемых новых принципов информационного взаимодействия.

Основные результаты исследования следующие.

1) Российские рынки черной металлургии и железнодорожных грузоперевозок характеризуются высоким уровнем концентрации производственных активов, что обуславливает необходимость постоянного совершенствования железнодорожных перевозок и снижения себестоимости путём оптимизации логистических затрат.

2) Функционирование информационной системы поддержки принятия решений при организации, управлении и контроле продвижения сырьевых грузов позволяет ликвидировать информационный разрыв, обеспечить сквозной мониторинг на всём протяжении логистической цепи и принимать управленческие решения при возникающих отклонениях в соответствии с матрицей принятия решений. В ходе исследования разработан математический аппарат и построены алгоритмы работы подобной информационной системы.

3) Модель прогнозирования прибытия разрабатывалась с применением вероятностных методов. Были составлены и проанализированы 4 статистических ряда значений времени хода поездов, выборка для каждого из которых составила 100 значений.

На разработанной модели выполнены экспериментальные расчёты реальных входных данных с применением программных комплексов Statistica и MathLab. В результате построены вероятностные графики для каждого типа кокса в летний и зимний периоды.

4) Годовой экономический эффект при внедрении информационной системы только за счёт кокса доменного составит 11 млн 646,2 тыс. рублей.

2.9.4 – Управление процессами перевозок.

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщений Императора Александра I».

