

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

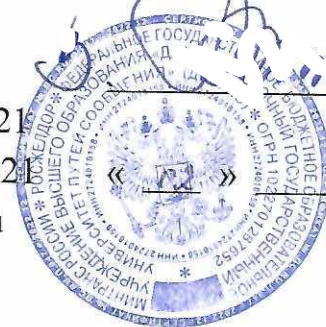
УТВЕРЖДАЮ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО ДВГУПС)

Ректор Дальневосточного
государственного университета
путей сообщения,
д.э.н., доцент

Серышева ул., д. 47, г. Хабаровск, 680021
Тел.: (4212) 40-72-00, факс (4212) 40-73-21
E-mail: root@festu.khv.ru, www.dvgups.ru

Буровцев В.В.



2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Надежкиной Снежаны Андреевны**
«Разработка методики контроля сопротивления токопроводящих
стыков рельсовых линий на основе принципов распознавания образов»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по научной специальности 2.9.4. Управление процессами перевозок
(технические науки)

1. Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационное исследование Надежкиной С.А. направлено на решение актуальной научно-технической задачи – разработку методики непрерывного контроля сопротивления токопроводящих стыков с использованием принципов распознавания образов. В условиях стратегического развития холдинга «РЖД», предусматривающего увеличение веса поездов и осевых нагрузок до 25-27 тонн, требования к надежности напольных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики существенно возрастают. Как показано в работе, рельсовые стыки являются одним из наиболее уязвимых элементов: по данным статистического анализа, до 22 % неисправностей рельсовых линий обусловлено дефектами стыковых соединителей, а 40 % отказов рельсовых цепей связаны с повреждениями именно стыковых соединителей.

Существующие методы контроля, базирующиеся на визуальном осмотре, ручных замерах и применении индикаторов тока, не позволяют обеспечить непрерывный автоматизированный мониторинг и интегрировать результаты в единое информационное пространство. Предложенный автором переход от периодических проверок к непрерывной диагностике на основе распознавания многомерных образов с формированием диагностических функций и решающих правил представляет собой научно обоснованный подход к созданию систем обслуживания по фактическому состоянию. Это полностью соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития РФ и, безусловно, делает тему диссертационной работы актуальной.

Таким образом, тема и задачи, решаемые в диссертационной работе Надежкиной С.А. «Разработка методики контроля сопротивления токопроводящих стыков рельсовых линий на основе принципов распознавания образов» актуальны и имеют практическое значение. Актуальность работы также подтверждается её соответствием, направлению исследований госбюджетной НИР, где Надежкина С.А. является ответственным исполнителем, финансируемой за счет средств федерального бюджета, согласно «Приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденным Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642, код научной темы PNML-2024-0004, №124040100033-0, а также программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») в 25 году и гранта в рамках областного конкурса «Молодой ученый» в номинации «Аспирант» в 2024 г.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, имеющего 104 наименования и 8 приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 193 страницы, включая 57 рисунков, 8 таблиц и 38 страниц приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, отражена научная новизна и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту.

В главе 1 представлен анализ статистических данных об отказах напольных устройств по хозяйству автоматики и телемеханики. Выявлено, что деградационные отказы, вызванные старением и износом элементов,

доминируют в их структуре (более 55%), а среди причин неисправностей рельсовых цепей существенную долю занимают повреждения стыковых соединителей. Проведена оценка существующих способов контроля токопроводящих стыков, включая анализ приборов ИСРС-01, МИР-Ш, ИТРЦ-М, а также систем технической диагностики и мониторинга (СТДМ). Обоснована недостаточная информативность контролируемого СТДМ напряжения на выходе рельсовой цепи для выявления предотказного состояния конкретного стыка. Сформулированы принципы (системности, многообразия, декомпозиции, итеративности), на которых базируется предлагаемая методика распознавания сопротивления токопроводящих стыков.

В главе 2 разработаны математические модели входных и выходных электрических параметров рельсовой линии, являющиеся информационной основой системы распознавания состояния токопроводящего стыка с повышенным сопротивлением и местом возникновения дефекта. Предложено рассматривать рельсовую линию не как однородную длинную линию, а как каскадное соединение четырехполюсников с распределенными параметрами и дискретно выделенных сопротивлений токопроводящих стыков. Машинные исследования доказали, что классическая однородная модель дает относительную погрешность по модулю выходного напряжения 6,15 % и по фазе – до 97,58 %, тогда как предложенная распределенно-дискретная модель позволяет более точно описать реальные процессы. Сформирован априорный алфавит информативных признаков, включающий комплексные амплитуды напряжений и токов на входе и выходе рельсового четырехполюсника.

В главе 3 изложена суть методики распознавания сопротивления токопроводящих стыков. Осуществлен параметрический синтез диагностических функций (ДФ), ключевым этапом которого является селекция и ранжирование первичных признаков на основе анализа коэффициентов параметрической чувствительности. Установлено, что наиболее информативными параметрами к изменению сопротивления стыка являются модуль и аргумент напряжения на входе рельсовой линии, а также ток на входе рельсовой линии. Проведенное машинное обучение показало, что для обеспечения допустимой погрешности единой ДФ недостаточно. Разработана система с двухуровневой классификацией диапазона изменения сопротивлений, включающая два класса по определению повышенного сопротивления стыка и 20 подклассов для локализации дефекта. Для разрешения неопределенностей на границах классов применен последовательный анализ Вальда.

Полученные результаты демонстрируют снижение показателя относительной ошибки при вычислении сопротивления до величин менее 1,4%, а координаты стыка – до 5,22%.

В главе 4 разработана архитектура устройства распознавания сопротивления токопроводящих стыков и места дефекта конкретного стыка. Функциональная декомпозиция системы включает датчики тока и напряжения (ЛЕМ), измерительные преобразователи, модули аналогового ввода и микропроцессорный модуль с обученным классификатором. Проведен допусковый анализ, показавший, что максимальное влияние на точность ДФ оказывает изменение величины ограничительного сопротивления. Важной научно-практической составляющей стало обоснование отказа от линейной топологии передачи данных в пользу отказоустойчивой кольцевой топологии на базе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) с применением механизмов инкапсуляции и деинкапсуляции диагностических пакетов.

3. Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций

Автор четко сформулировал цель работы, которая заключается в разработке методики диагностики сопротивлений токопроводящих стыков на основе принципов распознавания многомерных образов с определением конкретного места дефектного стыка.

В соответствии с поставленной целью корректно сформулированы задачи исследования, которые решены в результате проделанной работы:

1. предложены обобщенные математические модели рельсовых линий в виде распределенно – дискретных схем замещения рельсовых линий с каскадным соединением четырехполосников рельсовых линий с распределенными параметрами и стыков с сосредоточенными параметрами, позволяющие оценивать вклад сопротивлений токопроводящих стыков в полное продольное сопротивление рельсовых линий и составить модели, наиболее точно описывающие процессы изменения входных и выходных параметров рельсовых линий. Сравнительный анализ показал, что классическая однородная модель дает относительную погрешность по модулю выходного напряжения 6,15 %, по фазе выходного напряжения – 97,58 %, по модулю входного тока – 6,59 %;

2. разработаны математические модели исследования информативности первичных признаков с использованием коэффициентов чувствительности,

которые позволили сформулировать условия и ранжировать информативные признаки. Выявлено, что наиболее приемлемы для диагностики токопроводящих стыков модули напряжения и тока на входе рельсовой линии;

3. сформирована архитектура системы диагностики токопроводящих стыков, функционирование которой основано на использовании множества диагностических функций, где две из них предназначены для распознавания величины повышенного сопротивления стыка, а остальные двадцать необходимы для локализации места неисправности. Такое решение обеспечивает высокую достоверность процесса классификации, при котором относительная ошибка для оценки величины сопротивления стыка не превышает 1,4 %, а для определения координаты повреждения не более 5, 22 %;

4. разработана структурно – функциональная схема технической диагностики токопроводящих стыков, объединяющая каналы передачи информации, датчики, блок диагностических функций, блок решающих правил на основе последовательного анализа Вальда, которая позволяет реализовать спроектированную методику автоматизированной диагностики сопротивлений токопроводящих стыков;

5. представлена и обоснована целесообразность применения архитектуры кольцевой топологии для передачи диагностических данных по волоконно – оптическим линиям связи. В отличие от линейной топологии, кольцевая архитектура предоставляет резервирование путей передачи данных. Благодаря этому, система мониторинга остается работоспособной при единичных отказах кабелей или оборудования, что существенно повышает ее надежность и отказоустойчивость при диагностике.

Диссертационная работа Надежкиной С.А. обладает научной новизной, которая заключается в следующем:

1. Разработаны математические модели первичных информативных признаков, элементов образов состояний сопротивлений рельсовых линий, отличающиеся от известных моделей распределенным сопротивлением рельсов и дискретным представлением токопроводящих стыков в пределах рельсовой линии рельсовой цепи, позволяющие формировать диагностические функции вычисления величины сопротивления и координаты токопроводящих стыков с повышенным сопротивлением.

2. Предложена методика диагностики сопротивлений токопроводящих стыков и определения координаты токопроводящих стыков с повышенным сопротивлением на основе принципов распознавания образов с множеством диагностирующих функций и многомерным пространством образов, сформированных из первичных информативных признаков ранжированием признаков на основе оценки их параметрической чувствительности, а также

двухуровневой классификации диапазона изменения сопротивлений и определения координат стыков, позволяющей сформировать решающие правила определения стыков с повышенной проводимостью с использованием диагностических функций.

3. Разработан алгоритм функционирования устройства распознавания сопротивления токопроводящих стыков, отличающийся от известных применением множества диагностических функций, реализованный в микропроцессорном модуле с предварительно обученным классификатором, а также с использованием отказоустойчивой кольцевой топологии сети передачи данных на основе волоконно-оптических систем передачи данных, позволяющий подтвердить адекватность методики распознавания сопротивления токопроводящих стыков.

Достоверность полученных результатов подтверждается следующим:

– для экспериментальных исследований разработанного микропроцессорного устройства использована поверенная измерительная аппаратура, стандартные методики планирования эксперимента и обработки данных;

– основные разработанные технические решения защищены патентом РФ двумя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

Все основные результаты диссертации достаточно полно отражены в научных публикациях, а также прошли апробацию на международных научных конференциях.

4. Значимость для науки и производства полученных результатов

Теоретическая значимость работы заключается в расширении теоретических основ диагностики состояния рельсовых линий с распределенными параметрами, создании математических моделей для формирования пространства информативных признаков и разработке методики селекции признаков с оценкой их параметрической чувствительности.

Практическая значимость заключается в создании архитектуры устройства, позволяющей реализовать непрерывное распознавание сопротивления токопроводящих стыков. Переход к обслуживанию по фактическому состоянию, основанному на информации о текущем сопротивлении стыка и его координате, позволяет снизить эксплуатационные расходы, сократить время восстановления при внезапных отказах и снизить влияние «человеческого фактора» в процессе контроля и мониторинга.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс и используются при расширении функциональных возможностей проектируемых систем диагностики в Желдорпроект Поволжья – филиал АО «Росжелдорпроект».

5. Степень обоснованности и достоверности научных положений; выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации

Соискателем выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований. Обоснованность и достоверность научных результатов базируются на корректном использовании фундаментальных положений теории электрических цепей с распределенными параметрами, теории распознавания образов и матричного исчисления. Выводы подтверждены результатами машинных исследований в программно-математическом пакете Python и экспериментальными данными. Сравнительный анализ погрешностей вычисления сопротивления токопроводящих стыков диагностической функцией и экспериментальными данными показал высокую сходимость от 3,1 % до 7,5 %.

Основные положения диссертации прошли широкую апробацию на 11 международных и всероссийских конференциях и достаточно полно отражены в 22 научных работах, в том числе 8 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК, а также в 1 патенте на полезную модель и 2 свидетельствах о регистрации программ для ЭВМ.

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и практические рекомендации не противоречат известным научным результатам, опубликованным ранее в области теории рельсовых цепей и технической диагностики устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов диссертационной работы подтверждаются следующим:

- корректностью исходных теоретических предпосылок, базирующихся на фундаментальных положениях теории электрических цепей с распределенными параметрами и принципах распознавания образов;
- рациональным и обоснованным применением математического аппарата, включая матричное исчисление, методы регрессионного анализа и численные методы оценки параметрической чувствительности;

- верификацией синтезированных диагностических функций на обучающей, тестовой и контрольной выборках многомерных образов состояний токопроводящих стыков;
- приемлемой сходимостью теоретических расчетов с экспериментальными данными, которая характеризуется погрешностью вычисления сопротивления токопроводящих стыков в диапазоне от 3,1 до 7,5 %;
- положительной апробацией разработанной методики и архитектуры устройства распознавания в проектных организациях и в учебном процессе профильного университета.

6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям

Из изложенного выше следует, что тема диссертационной работы актуальна, полученные результаты обладают необходимой научной новизной, очевидна их теоретическая и практическая значимость для науки и производства. Сформулированные в диссертационной работе научные положения, выводы и заключения обоснованы и достоверны. Полученные результаты полностью соответствуют поставленной цели исследования.

Основное содержание диссертации, а также научные положения, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в 22 опубликованных научных работах, в том числе 8 статьях в ведущих рецензируемых журналах из перечня ВАК, одном патенте на полезную модель и двух свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Диссертация соответствует научной специальности 2.9.4. «Управление процессами перевозок» (технические науки), по пунктам: 5 «Теоретические основы, методы и технические средства обеспечения безопасности движения», 6 «Системы и устройства автоматики и телемеханики, предназначенные для управления перевозочным процессом, их эксплуатация, методы построения и испытания», 12 «Модели, методы и алгоритмы обеспечения надежности систем управления перевозочным процессом», поскольку в ней рассматриваются вопросы повышения эффективности функционирования железнодорожного транспорта, обеспечения безопасности перевозочного процесса, а также совершенствование методов и алгоритмов непрерывной диагностики технического состояния токопроводящих рельсовых стыков как компонент napольных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Разработанные математические модели входных и выходных электрических параметров рельсовой линии с распределенно-дискретными параметрами могут найти применение при синтезе новых и модернизации существующих рельсовых цепей, а предложенная методика распознавания сопротивлений токопроводящих стыков с использованием множества диагностирующих функций и двухуровневой классификации — при создании перспективных систем технической диагностики и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Разработанная архитектура устройства распознавания с кольцевой топологией передачи диагностических данных по волоконно-оптическим линиям связи обеспечивает необходимый уровень отказоустойчивости и позволяет интегрировать результаты контроля в единое информационное пространство о техническом состоянии объектов инфраструктуры.

Материалы диссертации, математические модели, предложенная методика, алгоритмы и архитектурные решения могут быть использованы в АО «ВНИИАС», ОАО «ЭЛТЕЗА», а также в других организациях при построении и исследовании перспективных систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

7. Основные достоинства и недостатки по содержанию диссертации

Диссертационная работа Надежкиной С.А. выполнена на высоком профессиональном уровне, к её достоинствам следует отнести системный подход к проблеме, глубокую проработку математических моделей и практическую направленность на интеграцию в существующую систему мониторинга. Выполненная работа продолжает цикл исследований в области разработки перспективных систем железнодорожной автоматики и телемеханики, проводимых в ФГБОУ ВО ПривГУПС.

С положительной стороны можно отметить внутреннее единство работы, которое основано на цели создания системы контроля состояний рельсовых линий с расширенными функциональными возможностями, позволяющей в условиях воздействия дестабилизирующих факторов и изменения первичных параметров рельсовых линий безошибочно классифицировать состояния рельсовых линий.

По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

– в работе при формировании и обучении модели используется длина блок-участка 2,5 км. Не указано, будет ли работоспособна методика для других длин блок-участка;

– на рис. 2.8, где представлена каскадная схема замещения рельсовой линии с выделением токопроводящих стыков, не отражены возмущающие воздействия, хотя их влияние в дальнейшем подробно анализируется; следовало бы указать характер этих воздействий;

– в третьей главе при описании процедуры машинного обучения диагностических функций не указана конкретная размерность обучающей и тестовой выборок, что затрудняет оценку репрезентативности сформированных классов сопротивлений токопроводящих стыков;

– список литературы опирается преимущественно на труды отечественных учёных. Для более полного освещения темы следовало бы шире привлечь зарубежные публикации последних лет, касающиеся применения методов машинного обучения и технической диагностики компонентов рельсовых цепей;

– в работе не упомянуто, проверялась ли работа алгоритма при наличии на линии поездного шунта;

– в автореферате не указано, какой тип рельсов (P50, P65, P75) использовался при расчётах;

– не указано, каким образом система оповещает обслуживающий персонал о выходе сопротивления стыка за допустимые пределы;

– в автореферате не приведены конкретные значения напряжения и тока на входе рельсовой линии, при которых проводились эксперименты.

8. Заключение

Отмеченные недостатки не снижают теоретической и практической значимости выполненной Надежкиной С.А. работы. Диссертация Надежкиной Снежаны Андреевны «Разработка методики контроля сопротивления токопроводящих стыков рельсовых линий на основе принципов распознавания образов» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая задача по созданию методики непрерывной диагностики сопротивления токопроводящих стыков. Полученные результаты имеют существенное значение для развития систем управления процессами перевозок, повышения надёжности и безопасности движения поездов. Автореферат отражает

содержание диссертации. Диссертация соответствует научной специальности 2.9.4. Управление процессами перевозок.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Надежкина Снежана Андреевна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки).

Отзыв на диссертационную работу обсужден на заседании кафедры «Автоматизированные, телекоммуникационные и электротехнические системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ДВГУПС), протокол № 6 от 27 мая 2026 г.

Годяев Александр Иванович

и.о. заведующего кафедрой

«Автоматизированные, телекоммуникационные

и электротехнические системы» ДВГУПС,

доктор технических наук, доцент

А.И. Годяев

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

Почтовый адрес: 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47

Тел.: (4212) 40-75-16, факс: (4212) 40-75-01

E-mail: root@festu.khv.ru

Подпись Годяева А.И. и Надежкиной С.А.

Кадровый отдел

01.06.2026

Юли

