

## ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, доцента Головнина Олега Константиновича на диссертацию Ефимушкина Николая Андреевича, выполненную на тему «Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием рельсового пути железной дороги», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

### 1. Актуальность темы

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью обеспечения повышенной надежности и безопасности инфраструктуры железнодорожного пути в условиях активного развития высокоскоростного движения и интенсификации перевозочного процесса, что предъявляет жесткие требования к оперативности технического обслуживания и ремонта. Существующая практика контроля состояния верхнего строения пути, основанная на видеосъемке с вагонов-путеизмерителей и последующей «ручной» обработке больших массивов данных операторами, характеризуется значительными временными задержками при выявлении дефектов и назначении ремонтных работ, что снижает эффективность использования ресурсов и повышает риски возникновения аварийных ситуаций. В связи с этим разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений, обеспечивающей автоматизированную диагностику элементов пути с применением технологий искусственного интеллекта и оптимизацию распределения рабочих бригад для устранения неисправностей, представляет собой важную научно-техническую задачу, решение которой способствует повышению оперативности реагирования на дефекты и сокращению затрат на содержание пути.

Кроме того, актуальность диссертационного исследования подтверждается его соответствием приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации в области интеллектуальных транспортных систем, утвержденным в Указе Президента России от 18 июня 2024 г. № 529.

В связи с вышеизложенным, тема диссертации Ефимушкина Н.А., посвященная разработке интеллектуальной системы поддержки принятия решений для управления техническим обслуживанием рельсового пути на основе онтологического моделирования, нейросетевой диагностики дефектов и оптимизации распределения ресурсов, является актуальной и имеет важное значение для развития Российской Федерации.

### 2. Оценка содержания диссертации

Следует отметить целостность построения диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав основного материала, заключения, списка используемой литературы и шести приложений.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и основные научные задачи исследований, дана оценка новизны и практической

С отзывом ознакомлен Ефимушкин Н.А.  
И.И.И. 04.05.2026

новизны и практической
" 04 " 05. 2026
Вход. № 8/4

значимости полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации выполнен системный анализ организации технического обслуживания железнодорожного пути, проведено формальное описание организационной структуры и процессов ремонта, проанализированы характеристики дефектов рельсового пути и классификация отступлений, а также представлен аналитический обзор существующих решений в области планирования ремонтных работ и диагностики состояния элементов пути, на основе чего обоснованы направления исследования.

Во второй главе разработана онтология технического обслуживания и ремонта рельсового пути, включающая основные понятия, свойства и связи предметной области; сформулированы аксиомы и SWRL-правила вывода для получения новых знаний; описан процесс поиска знаний с использованием средств Protégé; спроектирована структура системы поддержки принятия решений для управления путевыми работами, интегрирующая онтологическую базу знаний и модули диагностики.

В третьей главе представлена разработка интеллектуального классификатора для диагностики элементов верхнего строения пути; описаны методика сбора данных с использованием диагностических комплексов инфраструктуры, процессы формирования, разметки и очистки наборов данных; подробно рассмотрены выбор архитектуры, обучение и оценка качества трех моделей искусственных нейронных сетей (основной модели OBJ и дополнительных моделей JLV и BLT), предназначенных для распознавания объектов и дефектов рельсового пути.

В четвертой главе построена модель обслуживающей инфраструктуры линейного участка железной дороги; выполнена постановка задачи оптимального назначения путевых бригад на устранение выявленных дефектов в виде задачи целочисленного линейного программирования с булевыми переменными; определена целевая функция минимизации времени ремонтных работ и система ограничений, учитывающая типы бригад, степени дефектов и технологические окна; приведен пример решения задачи и анализ полученных назначений.

В пятой главе предложена экспериментальная проверка разработанных компонентов системы, включающая оценку скорости и качества работы нейросетевого детектора на реальном участке Куйбышевской железной дороги, исследование зависимостей времени и стоимости ремонтных работ от параметров задачи оптимизации, а также демонстрацию применимости нейросетевых методов для контроля состояния инфраструктуры контактной сети.

В заключении сформулированы основные научные результаты и выводы диссертации.

В приложениях приведены фрагменты онтологии технического обслуживания рельсового пути, описание наборов данных моделей нейросетевых детекторов, таблицы оценки качества работы моделей по метрике F1, текст программы для вычисления матрицы ошибок, скан-образы актов реализации результатов диссертации и свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

### 3. Научная новизна и основные результаты исследований

К основным научным результатам теоретического и прикладного характера, полученным автором лично, следует отнести следующие.

1. Онтология процесса технического обслуживания и ремонта верхнего строения пути и построение базы знаний, аксиом и правил вывода для получения новых знаний о состоянии рельсового пути на линейном участке с перегонами.

2. Интеллектуальный классификатор дефектов в виде комплекса трёх глубоких искусственных нейронных сетей: основной модели для распознавания всех объектов верхнего строения пути и двух дополнительных моделей для более точного распознавания объектов в рельсовых стыках и на рельсовых накладках соответственно, построенных на базе архитектуры SSD с классификатором в виде многослойной нейронной сети Mobilenet и обучаемых на сформированных датасетах визуального контроля рельсового пути.

3. Результаты решения задачи оптимального по минимуму времени ремонта назначения рабочих бригад на производственные работы по устранению дефектов рельсового пути на основе целочисленного линейного программирования с булевыми переменными с учетом ограничений на длительность технологических окон, а также расположение рабочих бригад в зависимости от классов и степеней выявленных дефектов рельсового пути.

4. Структура системы поддержки принятия решений при техническом обслуживании рельсового пути, использующая сверточную нейронную сеть для оперативного формирования базы знаний по выявленным дефектам и решение целочисленной задачи оптимизации для формирования правил назначения рабочих бригад на устранение дефектов.

Научная новизна работы и ее результатов состоят в следующем:

1. Разработана онтология процесса технического обслуживания и ремонта верхнего строения пути, основанная на построении базы знаний, аксиом и правил вывода, характерных для рассматриваемой предметной области, с целью получения новых знаний о состоянии рельсового пути на линейном участке с перегонами, что обеспечивает выбор подходящих технологических окон для перегонов с целью устранения выявленных неисправностей;

2. Предложен интеллектуальный классификатор дефектов верхнего строения пути, отличительной чертой которого является комплексное использование трёх глубоких нейронных сетей: основной модели для распознавания всех объектов верхнего строения пути и двух дополнительных моделей для более точного распознавания объектов в рельсовых стыках и на рельсовых накладках соответственно, построенных на базе архитектуры SSD с классификатором в виде многослойной нейронной сети Mobilenet, и обучаемых на сформированных датасетах визуального контроля рельсового пути, что обеспечивает повышение скорости и достоверности распознавания и классификации дефектов;

3. Поставлена и решена задача оптимального назначения рабочих бригад для устранения дефектов рельсового пути на основе целочисленного линейного программирования с булевыми переменными, в которой, в отличие от известных решений, использован критерий минимума времени ремонтных работ и введены ограничения на длительность технологических окон, на расположение

неотложных и укрупненных бригад в зависимости от классов и степени выявленных дефектов рельсового пути, что позволяет сократить общее время проведения ремонтных работ на железнодорожном пути;

4. Предложена структура системы поддержки принятия решений при техническом обслуживании рельсового пути, отличающаяся использованием глубокой сверточной нейронной сети для оперативного формирования базы знаний по выявленным дефектам и решением целочисленной задачи оптимизации для формирования правил назначения рабочих бригад.

#### **4. Теоретическая значимость результатов исследования**

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в развитии теории интеллектуальных средств управления техническим обслуживанием железнодорожного пути. В работе обоснованы и разработаны методы интеллектуального анализа данных, включающие комплексное использование ансамбля нейронных сетей для автоматизированного распознавания и классификации дефектов элементов верхнего строения пути, а также предложена математическая модель оптимального распределения ресурсов, базирующаяся на задаче целочисленного линейного программирования. Полученные результаты вносят вклад в теорию системного анализа и управления сложными киберфизическими системами, расширяя методологический аппарат поддержки принятия решений за счет интеграции онтологического моделирования, нейросетевой диагностики и оптимизационных алгоритмов в единую структуру интеллектуальной системы.

#### **5. Практическая значимость результатов исследования**

Практическая значимость полученных результатов исследований заключается в разработке и апробации методов и моделей интеллектуальной поддержки принятия решений, позволяющих повысить оперативность устранения дефектов и эффективность использования ресурсов при техническом обслуживании рельсового пути. Среди значимых результатов можно выделить построение онтологии предметной области для формирования базы знаний о процессах диагностики и ремонта, создание интеллектуального классификатора на основе ансамбля нейронных сетей для автоматизированного распознавания дефектов элементов верхнего строения пути в реальном времени, а также разработку алгоритма оптимального распределения рабочих бригад.

При этом необходимо отметить следующие значимые результаты:

– результаты работы применены на практике в АО «НПЦ ИНФОТРАНС», где показали уменьшение времени на техническое обслуживание и ремонт дефектов рельсового пути в среднем на 12% по сравнению с неавтоматизированным распределением бригад в предыдущие периоды времени, что подтверждается актом о внедрении;

– для основной модели предложенного детектора ОВJ получены характеристики  $mAP_{IoU=0,5} = 0,61$ ,  $mAR_{10} = 0,51$  и  $F1 = 0,71$ , что существенно превосходит аналоги в задаче комплексного распознавания объектов железнодорожного пути в условиях реальной эксплуатации.

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы на практике для автоматизации процессов диагностики элементов верхнего строения пути с применением технологий искусственного интеллекта, а также для оптимизации планирования ремонтных работ и распределения ресурсов путевых бригад на основе интеллектуальной системы поддержки принятия решений. Потенциальные предприятия для внедрения результатов работы: ОАО «Российские железные дороги».

## **6. Обоснованность и достоверность основных результатов диссертации**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректным применением теоретического аппарата использованных методов исследования, математически корректными формулировками и выводами.

Достоверность полученных научных результатов подтверждается следующим:

– теоретические положения сформулированы с использованием широко известных и многократно апробированных методов, основываются на результатах анализа отечественных и зарубежных работ, характеризующих современное состояние исследуемой предметной области. Выводы диссертации согласуются с основным содержанием работы и основными идеями, опубликованными по данной проблематике;

– использование результатов исследований других авторов по рассматриваемой тематике проведено корректно, со ссылкой на источники заимствования;

– полученные результаты базируются на применении методов системного и математического анализа, методов интеллектуального анализа данных, исследования операций и математического программирования, а также формализованного представления данных для принятия решений;

– проведены эксперименты и выполнена апробация предложенных в диссертации научно-технических положений на практике.

## **7. Апробация и публикации**

Результаты и основные положения диссертации в достаточной степени опубликованы в научной печати, в том числе в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, и прошли апробацию на международных конференциях.

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 работах, из них: 4 – в рецензируемых научных изданиях, два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 6 статей в прочих изданиях.

Результаты исследований, полученные при выполнении диссертации, реализованы:

– в АО «НПЦ ИНФОТРАНС» – в программном обеспечении диагностических комплексов инфраструктуры для обработки в реальном времени видеоданных о состоянии элементов верхнего строения рельсового пути и распознавания дефектов;

– в ФГБОУ ВО «СамГТУ» – в учебном процессе при подготовке по

образовательным программам по направлениям «Информатика и вычислительная техника» и «Программная инженерия».

## 8. Недостатки диссертации

Следует отметить следующие недостатки диссертации.

1. Во второй главе диссертации продемонстрирована возможность получения новых знаний с использованием SWRL-правил и механизма логического вывода Protégé Reasoner / Pellet. Однако не приведены оценки вычислительной сложности и времени выполнения логического вывода для онтологии, содержащей большое количество экземпляров классов, соответствующих реальной протяженности участка железной дороги (сотни километров, тысячи дефектов).

2. В диссертации не приведено сравнение выбранной архитектуры SSD MobileNet с современными легковесными моделями, такими как YOLOv8-nano, что не позволяет однозначно утверждать об эффективности целевого решения по соотношению точности и быстродействия.

3. В четвертой главе диссертации постановка задачи оптимального назначения бригад использует детерминированные значения времени ремонта и скорости передвижения, что не учитывает стохастическую природу реальных условий эксплуатации.

4. Не приведены технические характеристики разработанной системы поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием и ремонтом и параметры ее масштабирования при решении практических задач.

5. Достаточно много рисунков в первой главе диссертации имеют низкое качество (рисунки 1.1, 1.2, 1.10, 1.11, 1.13–1.16).

Приведенные недостатки не изменяют общей положительной оценки диссертации. Основной текст диссертации дает представление о большом объеме работы, проделанной Ефимушкиным Н.А. Новизна работы, практическая важность работы не вызывают сомнений. Полученные результаты, умение автора вести исследования, логичное и стройное изложение материала говорят о высокой научной квалификации соискателя.

Текст автореферата соответствует основному содержанию диссертации. В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показан вклад автора в проведенные исследования, подчеркнута новизна и практическая значимость проведенных исследований.

Диссертация и автореферат написаны грамотно, стиль изложения доказательный, что позволяет составить целостное представление о проделанной работе. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и свидетельствует о личном вкладе автора. Диссертация характеризуется завершенностью решения сформулированной научной задачи. Автор владеет методами научных исследований, обоснованно и корректно применяет соответствующий математический аппарат.

## 9. Вывод

В целом, можно сделать вывод, что диссертация, выполненная Ефимушкиным Н.А., написана на актуальную тему, отличается научной новизной и

практической значимостью полученных результатов, имеет завершённый характер. Автором сформулирована и решена важная научная задача повышения эффективности системы технического обслуживания рельсового пути железной дороги, заключающаяся в разработке интеллектуальных средств поддержки принятия решений на основе методов онтологического моделирования, нейросетевой диагностики и оптимизации распределения ресурсов.

Основные теоретические и прикладные результаты диссертации свидетельствуют о достижении поставленной цели. Содержание работы соответствует паспорту специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (пп. 2, 4, 10).

Диссертация «Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием рельсового пути железной дороги» является законченной научной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное значение для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений по управлению техническим обслуживанием инфраструктуры железнодорожного транспорта, что соответствует требованиям пунктов 9–11, 13 и 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор Ефимушкин Николай Андреевич достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

#### Официальный оппонент

Заведующий кафедрой «Медицинская физика, математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный медицинский университет», доктор технических наук, доцент

28.04.2026

Головнин Олег Константинович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
(ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России)  
443099, Российская Федерация, г. Самара, ул. Чапаевская, 89  
Телефон: +7 846 374-10-04, доб. 4328  
Email: o.k.golovnin@samsmu.ru Сайт: <https://samsmu.ru>

Шифр научной специальности, по которой защищена докторская диссертация:

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (на дату защиты 2023 г.)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России)

**ВЕРНО:**

Начальник отдела кадров

«28» 04 2026 г.