

Модель системы дистанционного контроля состояния электроподвижного состава с применением искусственных нейронных сетей

В. С. Язынин, к.т.н. А. М. Барановский, к.и.н. А. В. Забродин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

vladimir.yazynin@inbox.ru, bamvka@mail.ru, zabrodin@pgups.ru

Аннотация. Проведен анализ инструментов автоматизированного контроля состояния подвижного состава, установлены требования и разработана модель информационной система для контроля характеристик подвижного состава. Проанализирован ряд архитектур искусственных нейронных сетей, а также предложен алгоритм работы сверточной нейронной сети для определения процента износа токоприемника подвижного состава на основе фотографий. Составленный алгоритм включает предобработку изображений, создание модели сверточной нейронной сети, ее обучение и использование для классификации новых изображений.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, нейросетевые технологии, информационные технологии, железнодорожный транспорт, дистанционный контроль.

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт является важной частью инфраструктуры многих стран и играет важную роль в мировой экономике. Например, на долю ОАО «РЖД» приходится свыше 27 % пассажирооборота и 45 % грузооборота всей транспортной системы Российской Федерации. В связи с этим обеспечение безопасности и надежности работы железнодорожных систем является критически важной задачей. Информационные системы (ИС) контроля состояния поездов являются ключевым элементом обеспечения безопасности и эффективности работы железнодорожных систем. Но на сегодняшний день большая часть мероприятий по обеспечению контроля состояния железнодорожного транспорта осуществляется людьми в ручном режиме, что часто приводит к ошибочным решениям. Поэтому в рамках цифровой трансформации необходимо создавать автоматизированные и автоматические системы контроля, минимизирующие влияние человеческого фактора на качество контроля.

Искусственные нейронные сети (ИНС) могут быть использованы для автоматизации решения различных задач, таких как управление движением поездов, диагностика и прогнозирование отказов оборудования, оптимизация планирования ресурсов и улучшение качества обслуживания клиентов. Одним из главных преимуществ использования ИНС является способность адаптироваться к изменяющимся условиям и обучаться на основе опыта. Это делает ИНС более эффективными в решении сложных задач, которые трудно решить с помощью традиционных методов. На данный момент ОАО «РЖД» уже имеет позитивный опыт использования ИНС в некоторых сферах своей деятельности.

Целью исследования является разработка модели информационной системы дистанционного контроля состояния электроподвижного состава с использованием искусственных нейронных сетей. Разрабатываемая информационная система должна определять состояние поезда на основе анализа фотографий с помощью ИНС и данных, получаемых с различных датчиков.

Данное исследование может быть полезным для железнодорожной индустрии, поскольку позволит улучшить безопасность и эффективность применения железнодорожных систем. Использование искусственных нейронных сетей в информационных системах контроля состояния поездов может существенно сократить затраты на техническое обслуживание и устранение неисправностей, что в свою очередь приведет к сокращению времени простоя поездов, и улучшить общую эффективность работы железнодорожной инфраструктуры.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗНОС ТОКОПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Несмотря на множество преимуществ, электрификация железных дорог имеет ряд проблем, которые могут возникнуть в процессе ее реализации и эксплуатации, одним из видов таких проблем являются проблемы эксплуатационного характера. Наиболее распространенной проблемой этого типа можно назвать высокую уязвимость токоприемников, являющихся одним из наиболее ответственных узлов электроподвижного состава (ЭПС). Зачастую повреждения токоприемников приводят к нарушению токосъема и повреждению контактной сети, что в свою очередь может существенно повлиять на безопасность движения и, как следствие, снижает экономическую эффективность. Согласно анализу технических данных более четверти всех случаев брака, непланового ремонта и повреждений оборудования моторвагонного подвижного состава (МВПС) на различных железных дорогах России связаны с токоприемниками [1]. Поэтому обеспечение качественного технического осмотра и ремонта в депо является актуальной задачей.

Основные факторы, вызывающие повреждение и износ контактов токосъемных элементов, включают климатические условия, покрытие контактов льдом и изморозью, нарушение электрического контакта при взаимодействии материала контактов с окружающей атмосферой. Из-за органических веществ вследствие электрохимических ре-

акций на поверхностях контактов образуется пленка, которая ухудшает проводимость электрического тока.

Сила контактного нажатия $P_{кт}$, как основной критерий, отражающий качество токосъема, образуется следующими составляющими [1]:

$$P_{кт} = P_{стат} + P_{аэро} - P_{дин} ,$$

где $P_{кт}$ — контактное нажатие полоза токоприемника на контактный провод;

$P_{стат}$ — сила, создаваемая токоприемником во время стоянки электроподвижного состава;

$P_{аэро}$ — увеличение силы контактного нажатия в результате аэродинамических воздействий на токоприемник;

$P_{дин}$ — составляющая силы контактного нажатия, возникающая в результате динамического взаимодействия токоприемника с подвеской контактной сети.

Кроме того, сила прижатия полоза к контактному проводу и электрический ток также оказывают значительное воздействие на износ провода и контактов. Скользящий контакт вызывает эффект трения и дуговой разряд из-за разрыва между токосъемником и контактными проводами, что существенно влияет на повышение температуры и микроструктуру контакта.

Как следствие, токосъемник токоприемника начинает интенсивно изнашиваться при попадании влаги в контакт. Из-за возникновения электрических разрядов наблюдается значительное снижение пробега в зимний период времени. Под воздействием электрической дуги вследствие выкрашивания материала на их поверхности появляются раковины, а также термические трещины (рис. 1).

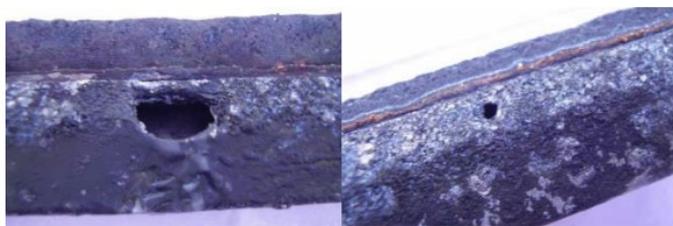


Рис. 1. Прожог в несущей конструкции вследствие воздействия электрической дуги

По причине прохождения больших токов в токосъемных элементах могут наблюдаться зоны расплавления (места, где виден поток материалов) и места сильного пригорания (рис. 2).



Рис. 2. Зоны расплавления и места сильного пригорания

Из вышесказанного можно сделать вывод, что данная тема является актуальной на сегодняшний день, и необходимо повысить уровень контроля характеристик токоприемников подвижного состава за счет внедрения новых технологий распознавания дефектов. Наиболее удачным и эф-

фективным решением представляется создание информационной системы с применением искусственных нейронных сетей для диагностики состояния токоприемников.

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ И ОПИСАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Формирование требований и описание информационной системы контроля состояния электроподвижного состава является важной задачей для обеспечения безопасности движения поездов и улучшения качества обслуживания пассажиров [1].

Информационная система контроля состояния электроподвижного состава должна позволять осуществлять мониторинг технического состояния поезда и автоматически определять возможные проблемы, которые могут привести к авариям или задержкам в движении поездов [2]. Для этого система должна осуществлять сбор, обработку и анализ большого объема данных с различных датчиков, установленных на электроподвижном составе и объектах инфраструктуры железной дороги.

Требования к информационной системе контроля состояния электроподвижного состава должны включать в себя следующие пункты:

1. Высокая точность и скорость обработки данных. Система должна обеспечивать быструю обработку большого объема данных и высокую точность результатов.

2. Доступность и надежность. Система должна быть доступна в любое время и стабильно работать на протяжении всего срока эксплуатации.

3. Использование современных технологий и методов. Для достижения высокой эффективности и точности система должна использовать современные технологии и методы, такие как искусственные нейронные сети и машинное обучение.

4. Простота в использовании. Система должна быть интуитивно понятной и простой в использовании.

5. Расширяемость. Система должна быть легко расширяема и поддерживать интеграцию с другими системами, такими как система управления движением поездов.

Описание информационной системы контроля состояния электроподвижного состава должно включать в себя архитектуру системы, используемые (применяемые) аппаратные и программные компоненты, а также основные этапы ее функционирования. Архитектура системы должна быть построена на основе модульного подхода, который позволит легко добавлять в нее новые функциональные компоненты. Ключевыми компонентами системы должны быть датчики, сборщики данных, видеоизмерительный комплекс, база данных, модули анализа данных и визуализации результатов [3].

Датчики, размещенные на каждом вагоне, должны собирать данные о техническом состоянии оборудования, такие как давление, температура, вибрация и другие параметры, которые могут указывать на возможные неисправности. Собранные данные передаются в сборщики данных на серверах, которые управляют процессом сбора информации.

Видеоизмерительный комплекс представляет собой совокупность видеокамер, позволяющих сделать фото и видеоматериалы анализируемого объекта с разных ракур-

сов, что дает возможность провести наиболее полный анализ внешних компонентов поезда [4].

База данных является основным хранилищем всех собранных данных. Данные хранятся в структурированном виде и могут быть быстро извлечены для анализа. Модули анализа данных обрабатывают собранные данные с помощью ИНС, которая выявляет возможные неисправности, а также рассчитывает процент износа комплектующих.

Визуализация результатов позволяет оперативно отслеживать состояние электроподвижного состава и принимать необходимые меры в случае выявления неисправностей. Результаты анализа данных представляются в удобной форме: графики, диаграммы и т. д.

Для обеспечения надежной работы информационной системы контроля состояния электроподвижного состава необходимо выбрать надежное аппаратное и программное обеспечение, которое обеспечит стабильную работу системы в любых условиях эксплуатации. Также необходимо учитывать требования к безопасности и защите данных, чтобы исключить возможность несанкционированного доступа к конфиденциальной информации [5].

ИНСТРУМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОЕЗДА

На сегодняшний день существует довольно много инструментов автоматизированного контроля состояния поезда, которые можно объединить в единую информационную систему для повышения качества диагностики. Это позволит вывести обеспечение безопасности и надежности железнодорожного транспорта на новый уровень [6]. Некоторые из этих инструментов включают в себя:

1. Датчики контроля состояния поезда. Это устройства, которые монтируются на поезде и позволяют собирать данные о различных параметрах, таких как скорость, температура, вибрация и т. д. Эти данные затем анализируются, чтобы определить состояние поезда и выявить любые потенциальные проблемы.

2. Видеоизмерительные системы. Специальные комплексы из камер и другого оборудования могут быть установлены на входах или выходах в депо и вокруг железнодорожных путей для мониторинга состояния и поведения поезда. Это может включать в себя определение состояния различных компонентов, таких как токоприемники или пневматические тормоза.

3. Системы автоматического управления поездом позволяют автономно управлять поездом на основе собранных данных и заданных параметров, таких как скорость и направление движения. Это может помочь предотвратить некоторые потенциальные аварии и улучшить безопасность на железнодорожных путях.

4. Программное обеспечение для анализа данных. Используется для обработки и анализа данных, собранных с различных инструментов контроля. Может включать в себя такие алгоритмы машинного обучения и распознавания, которые на основе собранных данных позволяют автоматически определять состояние поезда.

Все эти инструменты вместе помогают обеспечить безопасность и надежность железнодорожного транспорта. Использование их в сочетании с искусственными нейронными сетями может улучшить эффективность и достоверность системы контроля состояния поезда, повы-

сить уровень безопасности для пассажиров и персонала железнодорожного транспорта. Применение искусственных нейронных сетей в таких системах может значительно улучшить точность анализа данных и повысить эффективность контроля за состоянием поезда. Кроме того, это может позволить оперативно выявлять и предотвращать возможные проблемы, которые могут привести к авариям или задержкам в движении поездов.

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ ТОКОПРИЕМНИКОВ ЭПС

Наиболее интересной отечественной работой в этой сфере является [7], в которой описана перспективная система диагностики токоприемников электроподвижного состава, основанная на применении компьютерного зрения. Дистанционный способ диагностики позволяет осуществлять контроль непосредственно в режиме эксплуатации без необходимости остановки подвижного состава и без участия обслуживающего персонала.

Дальнейшая часть исследовательской работы будет посвящена модернизации описанной концепции и проектированию данной ИС.

Конструкция стационарного комплекса для контроля технического состояния токоприемников проходящего ЭПС состоит из следующих компонентов (рис. 3):

1. Видеокамера с вертикальным направлением оптической оси.
2. Вертикальная видеокамера с фронтальным направлением оптической оси.
3. Источник инфракрасного освещения.
4. Фронтальная видеокамера с горизонтальным расположением оптической оси.
5. Датчик прохода ЭПС.
6. Блок контроля и управления.
7. Локальный сервер.
8. База данных.

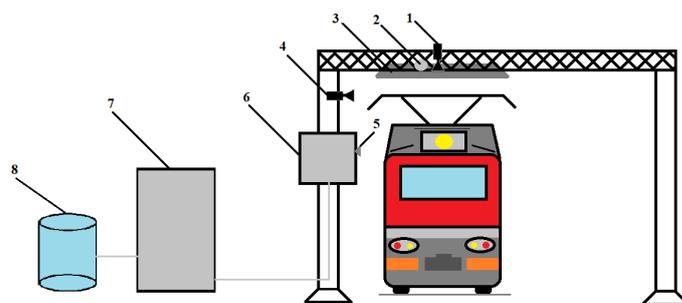


Рис. 3. Схема расположения оборудования видеоизмерительного комплекса

При проходе ЭПС через контрольный пункт датчик прохода отправляет сигнал в блок управления, после чего начинается процесс записи видеоинформации с разных ракурсов. Данные с видеокамер поступают на локальный сервер, где производится анализ технического состояния токоприемника. Процесс анализа осуществляется с помощью ИНС, в основе которой заложен многошаговый алгоритм, после обработки данные будут сохранены в базу данных. В случае обнаружения отклонений параметров токоприемника от нормативных оператору станции подается предупреждающий сигнал и изображение токопри-

емника с указанием причины срабатывания системы. Для работы в темное время суток пункт необходимо оснастить источником инфракрасного освещения.

Предлагаемая автоматизированная система оценки состояния токоприемников позволяет выполнять непрерывный контроль технического состояния токоприемников, проходящих через контрольный пункт. В автоматическом режиме выполняются регистрация времени и скорости прохода ЭПС, распознавание номера локомотива, сохранение данных видеосъемки, определение типа токоприемника и оценка технического состояния. Измерение геометрических параметров и определение технического состояния контактных пластин токоприемников выполняется при помощи специализированных алгоритмов распознавания образов. При наличии точного аналитического описания дефектов для принятия решения на основе измерений может быть использована модель нейросети Хопфилда, обученная на решение алгебраических уравнений [8, 9].

Горизонтальная камера оценивает величину отжатия контактного провода в момент прохода токоприемника, что позволяет вычислить величину силы контактного нажатия токоприемника при известной жесткости подвески.

Вертикальная камера позволяет оценить состояние износа токосъемных пластин на ползках токоприемника по форме и структуре изображения контактной поверхности. Система позволяет определить наличие подгаров и сколов на контактных элементах, их количество и размер по отношению к общей площади контактной поверхности.

С помощью фронтальной камеры определяются геометрическое положение и форма токоприемника. Профиль токоприемника должен вписываться в допустимые габариты. Путем сравнения профиля токоприемника с шаблонными изображениями выявляются механические повреждения ползца и системы подвижных рам.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Основной задачей проектируемой информационной системы является помощь оператору станции по осуществлению автоматического контроля состояния износа токоприемников ЭПС за счет использования обработки полученных фото и видеоматериалов с помощью ИНС, а также предоставление удобного интерфейса для быстрого формирования отчета и сохранении отчета в БД [7, 10–12]. В качестве инструмента проектирования и моделирования разрабатываемой системы предлагается использовать язык UML (англ. *Unified Modeling Language* — унифицированный язык моделирования). Этот язык графического описания является мировым стандартом и подходит для проектирования ИС, программного обеспечения (ПО), бизнес-процессов и т. д.

На рисунке 4 представлены основные варианты использования ИС оператором: получение видео или фото материалов с видеоизмерительного комплекса, обработка полученных материалов с помощью ИНС, создание, изменение или удаление отчета, работа с БД.

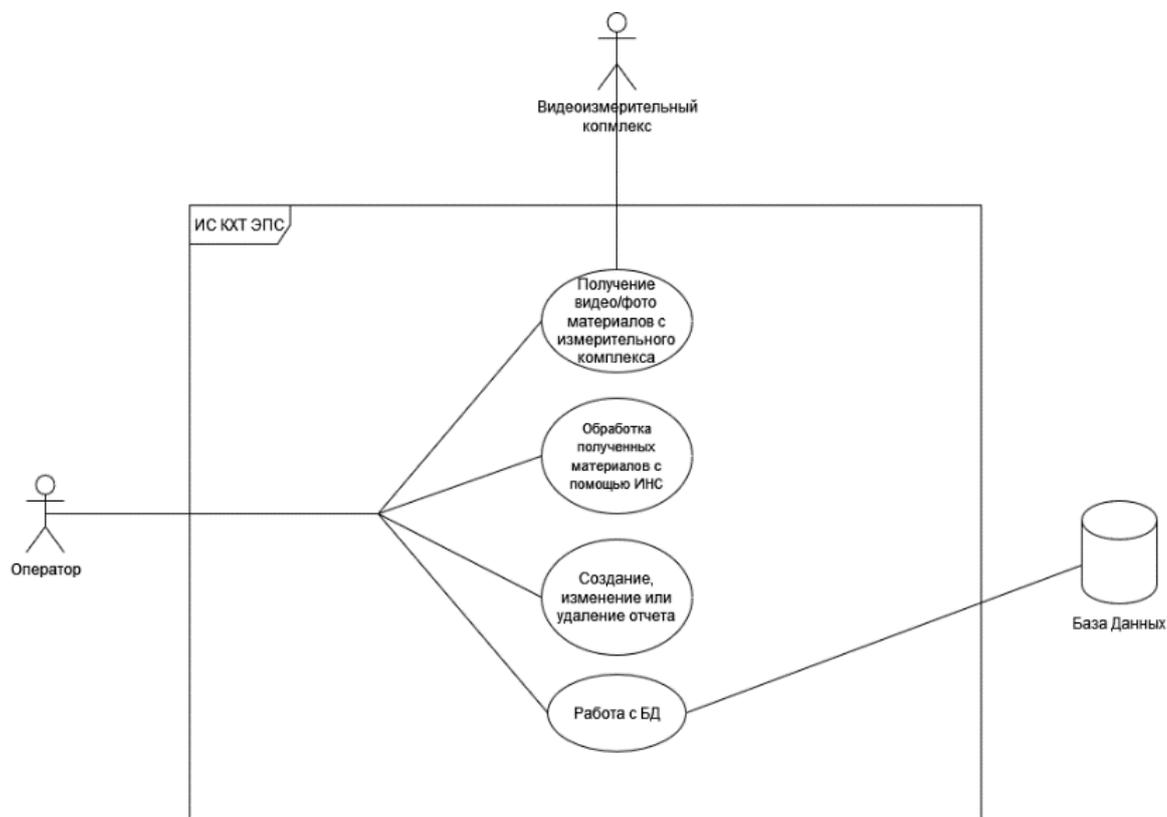


Рис. 4. Диаграмма вариантов использования ИС

Для раскрытия сущности вариантов использования предлагается использовать диаграмму деятельности, которая используется для описания поведения на основе указанных потоков управления и потоков данных. На рисунке 5 представлен типичный сценарий использования оператором ИС для более детального представления технических и бизнес-процессов, протекающих в проектируемой системе. На диаграмме показано, что полный функционал, включая получение и обработку фотографий с помощью ИНС, работу с отчетами и базой данных, досту-

пен только после прохождения авторизации, в противном случае оператор может лишь выйти из системы.

На рисунке 5 при отображении процесса авторизации пользователя задействуются понятия токена сессии и кеша. Под токеном сессии понимается уникальный ключ доступа к ресурсам приложения, а под кешем понимается кеш браузера или приложения — это папка, в которой хранятся данные, которые появились в момент работы пользователя.

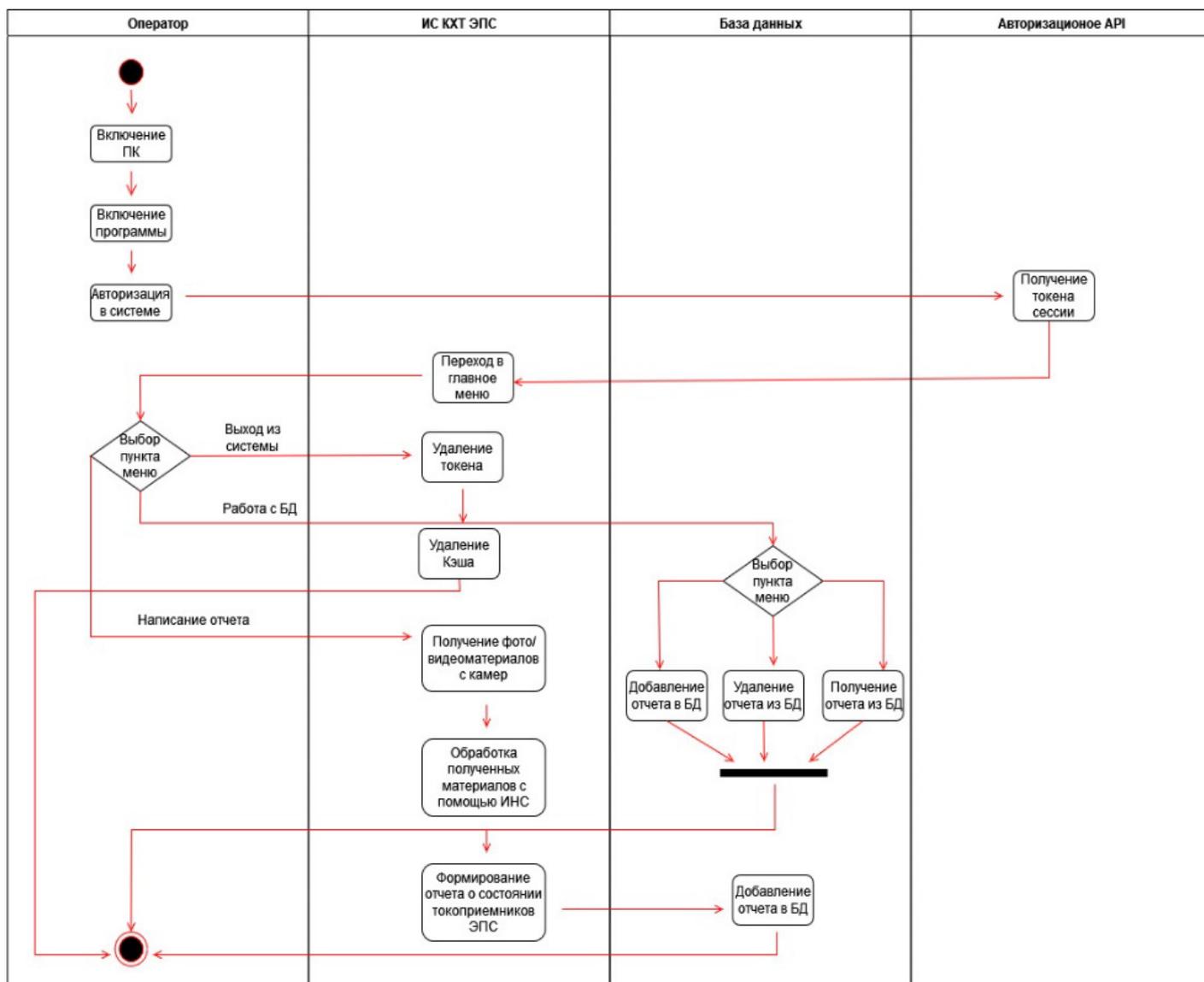


Рис. 5. Диаграмма деятельности

Диаграмма состояний, приведенная на рисунке 6, — один из способов детального описания поведения в UML на основе явного выделения состояний и описания переходов между ними. На рисунке представлены возможности программного комплекса во включенном и выключенном состоянии.

С помощью диаграммы классов, представленной на рисунке 7, демонстрируется основной графический способ

описания структуры проектируемой системы в UML, то есть изображение набора статических, декларативных элементов модели. Оператор аккаунта, успешно пройдя авторизацию через интерфейс оператора, получает доступ к классам управления, таким как получение фотографий, связанным с видеоизмерительным комплексом, управление отчетом, обработка фотографий, связанным с ИНС, управление базой данных, связанным с БД.

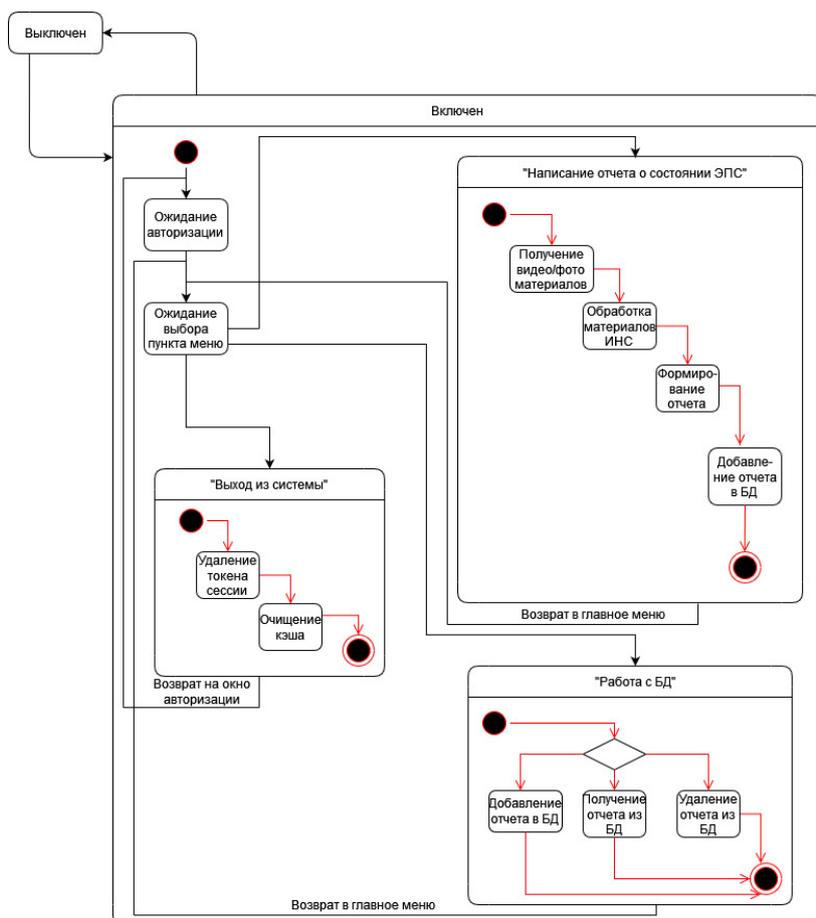


Рис. 6. Диаграмма состояний

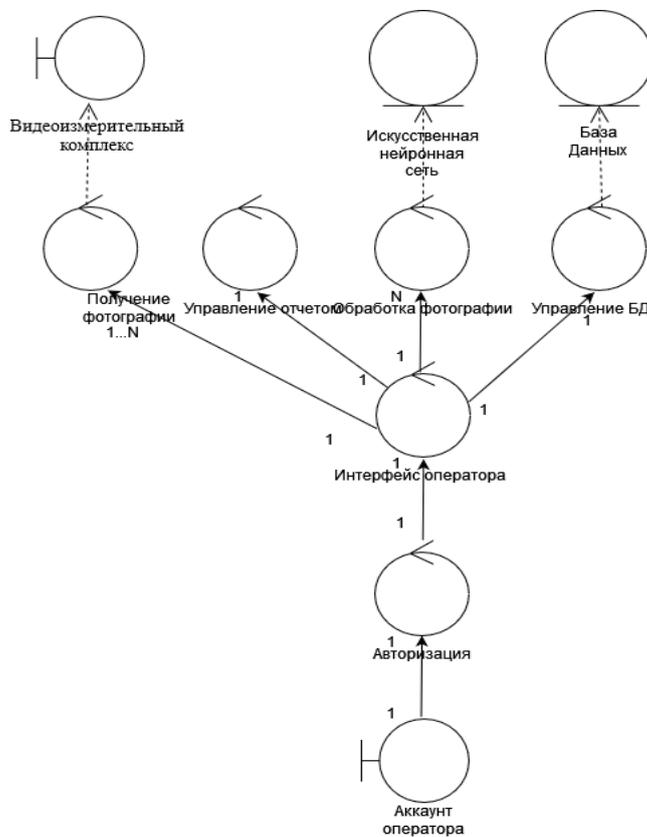


Рис. 7. Диаграмма основных классов

Для визуализации взаимосвязи между модулями (как физическими, так и логическими) была спроектирована диаграмма компонентов, так как это позволит наглядно отобразить взаимосвязи между модулями (рис. 8). Наиболее важным компонентом ИС будет являться клиентское приложение, с помощью которого оператор станции сможет взаимодействовать с другими компонентами, такими как локальный сервер, на котором собираются и обрабатываются полученные видеоматериалы, и база данных, которая используется для хранения полученных исходных и обработанных сервером данных и отчетов.

Теперь, когда описаны варианты использования ИС, смоделирована диаграмма деятельности на основе поведения, составлена диаграмма состояний и описана диаграмма компонентов, иллюстрирующая модули, используемые в системе, остается спроектировать диаграмму развертывания ИС для отображения узлов выполнения программных компонентов реального времени, а также процессов и объектов.

Для повышения надежности и отказоустойчивости разрабатываемой системы ее необходимо разделить на модули, показанные на диаграмме развертывания (рис. 9).

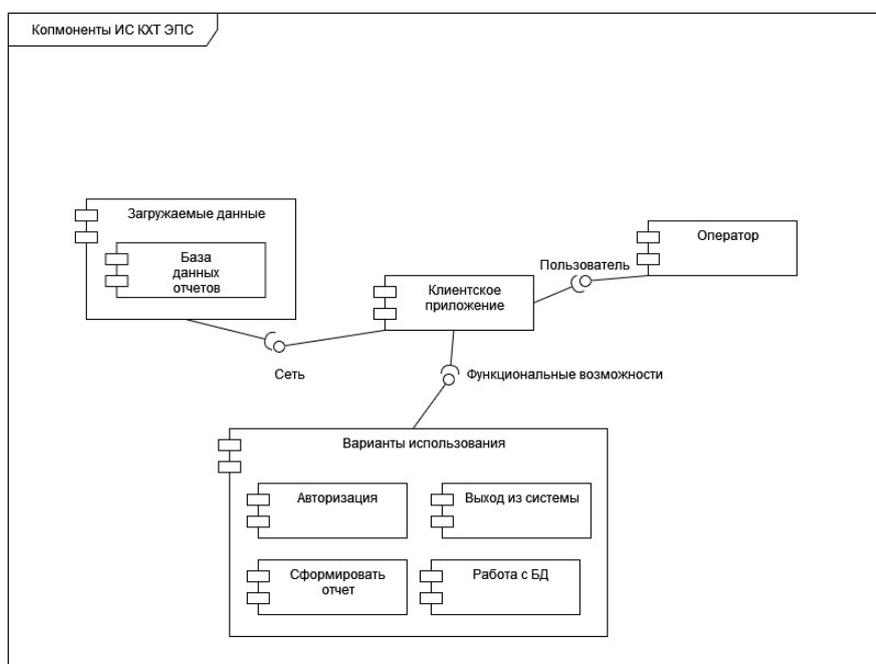


Рис. 8. Диаграмма компонентов

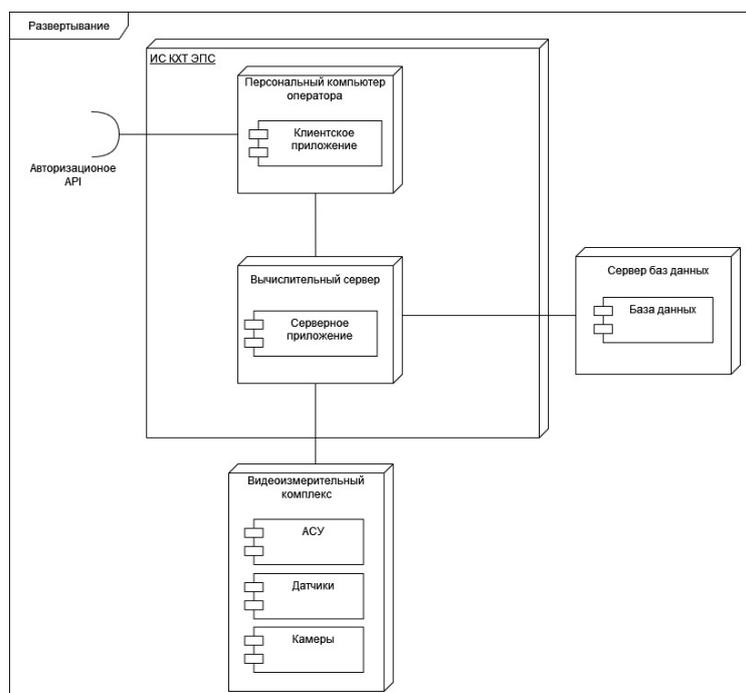


Рис. 9. Диаграмма развертывания ИС

Предполагается, что на территории станции будет расположен вычислительный сервер и один или несколько компьютеров с клиентским приложением, через которое пользователь будет проходить авторизацию через стороннее API, а также получать доступ к работе с сервером. Сервер, в свою очередь, будет получать фото- и видеоматериалы с видеоизмерительного комплекса, который находится при въезде на станцию, а также сохранять полученные данные в базу данных, находящуюся удаленно.

С использованием основных UML-диаграмм была спроектирована модель информационной системы контроля характеристик состояния поезда, позволяющая автоматизировать процесс диагностики и увеличить безопасность и надежность железнодорожной инфраструктуры. Дальнейшее исследование в рамках статьи будет посвящено анализу архитектуры и разработке алгоритма искусственной нейронной сети для решения задачи оценки износа токопроводящей детали токоприемника ЭПС.

ВЫБОР АРХИТЕКТУРЫ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗНОСА ТОКОПРИЕМНИКА

Существует большое количество архитектур нейронных сетей, список их постоянно пополняется. Некоторые из наиболее известных и широко используемых архитектур ИНС:

- многослойные перцептроны (Multilayer perceptrons);
- сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks);
- рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks);
- автоэнкодеры (Autoencoders);
- генеративно-состязательные сети (Generative Adversarial Networks);
- сети долгой краткосрочной памяти (Long Short-Term Memory Networks);
- трансформеры (Transformers);
- инвертированные нейронные сети (Inverted Neural Networks).

Каждая архитектура имеет свои уникальные особенности и подходит для решения различных задач в области машинного обучения и искусственного интеллекта.

Для решения поставленной задачи необходимо применить методы искусственного интеллекта, в частности, технологии машинного обучения, которые позволяют на основе анализа данных определить вероятность возникновения неисправностей и разработать предиктивные модели обслуживания. В этом контексте выбор подходящей архитектуры нейронной сети является критически важным, поскольку именно от него зависит точность и эффективность модели. Далее будут рассмотрены некоторые архитектуры нейронных сетей, которые могут быть использованы для оценки износа токопроводящего элемента и выбрана самая эффективная. Для оценки износа токопроводящего элемента подвижного состава по фотографии подходят следующие архитектуры ИНС [13]:

1. Сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN). Эта архитектура хорошо подходит для распознавания образов и может быть использована для анализа изображений токоприемников и определения их

состояния. CNN может обрабатывать большой объем данных и выдавать точный результат.

2. Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks, RNN). Этот тип ИНС хорошо подходит для анализа временных рядов данных. RNN может быть использована для анализа и прогнозирования изменений в состоянии токоприемников на основе фотографий. Однако данная архитектура может иметь трудности с обработкой больших объемов данных и столкнуться с следующими проблемами: медленный рост точности, значительное изменение градиента к концу обучения, даже если в начале его не было, а также то, что веса модели уменьшаются экспоненциально во время обучения и стремятся к нулю.

3. Сети долгой краткосрочной памяти (Long-Short Term Memory, LSTM). Это модификация RNN, которая позволяет обрабатывать длинные временные ряды данных и избегать проблемы затухания градиента. LSTM может использоваться для анализа и прогнозирования изменений в состоянии токоприемников на основе фотографий.

4. Глубокие нейронные сети (Deep Neural Networks, DNN). Общее название для ИНС, имеющих несколько слоев. Глубокие нейронные сети могут использоваться для анализа фотографий и обработки большого объема данных, а также для анализа временных рядов данных.

Из приведенных выше архитектур CNN наиболее подходит для задачи определения износа токоприемника подвижного состава по фотографии из-за способности автоматически извлекать и анализировать признаки из изображений [14].

CNN специально разработаны для обработки изображений и имеют несколько особенностей, которые делают их идеальными для решения этой задачи. Архитектура сверточных нейронных сетей состоит из слоев следующих типов:

- сверточные слои в CNN способны извлекать различные признаки изображения, такие как линии, углы, границы и другие характеристики, которые помогают в определении износа токоприемника;
- пулинг-слои уменьшают размер изображения и устраняют некоторые шумы, что помогает улучшить качество классификации;
- полносвязные слои выполняют окончательную классификацию.

CNN имеют несколько вариаций архитектур, но описанные ниже уравнения в полной мере применимы к любой сети прямого распространения.

Предположим, имеется нейронный слой в виде квадрата $N \times N$, за которым следует сверточный слой. Если использовать фильтр, тогда результат свертки будет иметь размер $(N - m + 1) \times (N - m + 1)$. Чтобы вычислить результат в некоторую единицу времени в имеющемся слое, необходимо суммировать результаты от ячеек предыдущего слоя:

$$x_{ij}^l = \sum_{a=0}^{m-1} \sum_{b=0}^{m-1} \omega_{ab} y_{(i+a)(j+b)}^{l-1},$$

где ω — матрица размера $m \times m$;

x_{ij}^l — результат в некоторую единицу времени;

y_{ij}^l — нелинейный выход сверточного слоя.

Затем сверточный слой реализует свою функцию активации:

$$y_{ij}^l = \sigma(x_{ij}^l),$$

где $\sigma(x_{ij}^l)$ — нелинейная функция.

Пулинг-слои довольно просты и не обучаются сами по себе. Они берут некоторую область $k \times k$ и выводят единственное значение, которое является максимальным в этой области. Например, если их входной слой представляет собой слой $N \times N$, затем они выведут слой $\frac{N}{K} \times \frac{N}{K}$, поскольку каждый блок $k \times k$ сводится только к одному значению с помощью нахождения максимума функции.

Далее, подробно изучив выбранную архитектуру, необходимо разработать алгоритм работы сверточной нейронной сети для поставленной задачи, который может выглядеть следующим образом:

1. Сбор данных. Необходимо собрать достаточно большой набор изображений токоосъемников токоприемников, которые будут использоваться для обучения и тестирования модели. На каждом изображении должен быть четко виден токоприемник в разных ракурсах и с разными степенями износа.

2. Разметка данных. Каждое изображение из набора должно быть размечено по классам, соответствующим разным степеням износа. Например, если в задаче необходимо определить износ токоприемника по шкале от 1 до 10, то каждое изображение должно быть отнесено к одному из 10 классов в зависимости от степени износа.

3. Подготовка данных. Изображения должны быть подготовлены для обучения модели. Например, они могут быть приведены к одному размеру и масштабированы.

4. Обучение модели. Обучение модели начинается с инициализации весов нейронной сети. Далее на каждом этапе обучения модель будет получать на вход набор изображений и соответствующие им классы. Затем, используя метод обратного распространения ошибки, модель будет корректировать свои веса таким образом, чтобы минимизировать ошибку классификации.

5. Оценка модели. После завершения обучения модель должна быть оценена на тестовых данных, которые не использовались в обучении. Это позволит определить точность модели и насколько она способна обобщать знания на новые данные.

6. Применение модели. Когда модель обучена и протестирована, ее можно применять для определения степени износа токоприемника на новых изображениях. Для этого нужно передать изображение на вход модели, а на выходе получить предсказание, какому классу износа соответствует данный токоприемник.

7. Оценка результатов. Результаты, полученные с помощью модели, должны быть оценены и проанализированы. Если точность модели недостаточна высока, то можно попробовать улучшить ее путем изменения архитектуры сети, параметров обучения и других факторов.

После того как модель прошла этап обучения, она может быть использована для классификации изображений токоосъемников на новых данных. Алгоритм работы модели на новых данных выглядит следующим образом:

1. Получение нового изображения токоприемника, который нужно классифицировать.

2. Предварительная обработка изображения: изменение размера, нормализация, приведение к стандартному формату.

3. Передача обработанного изображения в модель CNN.

4. Модель CNN классифицирует изображение и определяет процент износа токоосъемника.

5. Вывод результата классификации, который может быть передан оператору станции или сохранен в базе данных.

Таким образом, сверточные нейронные сети являются лучшим выбором для определения износа токоосъемника токоприемника подвижного состава по фотографии, так как они позволяют автоматически извлекать и анализировать признаки изображений и уже достигли значительных успехов в распознавании и классификации объектов на основе изображений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование сверточной нейронной сети для определения износа токоприемника на подвижном составе имеет несколько преимуществ перед традиционными методами контроля. Во-первых, сверточные нейронные сети могут обрабатывать большие объемы данных за короткий промежуток времени, что позволяет быстро выявлять дефекты и износ токоприемника. Во-вторых, нейронные сети могут обучаться на большом количестве изображений токоприемников различных типов и разных степеней износа, что увеличивает точность их работы. В-третьих, автоматизация процесса контроля с помощью нейронных сетей позволяет снизить риски человеческого фактора, так как они работают автономно с высоким качеством.

Реализация алгоритма со сверточной нейронной сетью для определения процента износа токоприемника подвижного состава представляется эффективным и перспективным подходом к контролю состояния элементов ЭПС, может помочь повысить качество обслуживания техники и железнодорожной инфраструктуры, что приведет к повышению безопасности и надежности железнодорожного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герцензон, М. А. Контроль состояния подвижного состава железнодорожного транспорта: Монография / М. А. Герцензон, А. А. Тумашевич, А. А. Борисов. — Москва: Юрайт, 2016. — 240 с.

2. Карелин, А. С. Методы определения параметров токоприемника электропоезда: Монография / А. С. Карелин, Д. В. Дворецкий. — Москва: Изд-во Московского авиационного ин-та, 2017. — 142 с.

3. Михайлов, Г. С. Компьютерные технологии в транспортных системах: Учебное пособие / Г. С. Михайлов, Л. В. Шинкарева, О. А. Сорокина. — Москва: Изд-во МАДИ, 2017. — 204 с.

4. Фролова, С. Е. Архитектура системы автоматизированного распознавания единиц подвижного состава / С. Е. Фролова, А. В. Забродин // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2021. № 1 (25). С. 15–20.

DOI: 10.24412/2413-2527-2021-125-15-20.

5. Гусаров, В. М. Информационные технологии для управления подвижным составом: Учебное пособие / В. М. Гу-

саров, Е. В. Рубцова, В. А. Золотарев. — Москва: Изд-во Московского энергетического ин-та, 2013. — 223 с.

6. Замятина, Н. В. Контроль технического состояния электрифицированных железных дорог: Учебное пособие / Н. В. Замятина, В. И. Камаев. — Москва: Изд-во Московского энергетического ин-та, 2016. — 176 с.

7. Смердин, А. Н. Автоматизированная система диагностики состояния токоприемников электроподвижного состава на основе видеоизмерительного комплекса / А. Н. Смердин, А. С. Голубков, С. Н. Найден // Известия Транссиба. 2012. № 2 (10). С. 103–109.

8. Синтез нейроподобной сети Хопфилда для решения систем линейных алгебраических уравнений / А. М. Барановский, С. Б. Силантьев, Х. Л. Смолицкий, М. Ф. Яфракков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1994. Т. 37, № 3-4. С. 47–51.

9. Adapted Model Neural-Like Hopfield Network and the Algorithm of Its Training for Finding the Roots Systems of Linear Algebraic Equations / A. P. Gluhov, A. M. Baranovskiy, Y. S. Fomenko, A. P. Bochkov // Artificial Intelligence in Intelligent Systems (CSOC 2021): Proceedings of the 10th Computer Science On-line Conference 2021 (Zlín, Czech

Republic, April 2021) / R. Silhavy (ed.). — Cham: Springer Nature, 2021. — Vol. 2. — Pp. 386–395. — (Lecture Notes in Networks and Systems; Vol. 229).

DOI: 10.1007/978-3-030-77445-5_36.

10. Сивицкий, Д. А. Анализ опыта и перспектив применения искусственных нейронных сетей на железнодорожном транспорте // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2 (57). С. 33–41. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_57_33.

11. Liu, X. Research on the Train State Online Monitoring and Early Warning System Based on Neural Network / X. Lui, X. Zhang, Q. Tang // Journal of Computational Information Systems. 2014. Vol. 10, No. 8. Pp. 3429–3436.

12. Драгалин, А. Г. Искусственные нейронные сети. Основы теории. — Москва: Физматлит, 2015. — 352 с.

13. Ширяев, В. И. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика: Учебное пособие. — Изд. 5-е, испр. — Москва: URSS: Книжный дом «Либроком», 2013. — 232 с.

14. Ростовцев, В. С. Искусственные нейронные сети: Учебник для вузов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 216 с. — (Высшее образование).

The Model of Remote Monitoring System for Electric Rolling Stock Condition Using Artificial Neural Networks

V. S. Yazynin, PhD A. M. Baranovsky, PhD A. V. Zabrodin
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia
vladimir.yazynin@inbox.ru, bamvka@mail.ru, zabrodin@pgups.ru

Abstract. The paper analyzes tools for automated monitoring of rolling stock, establishes requirements, and develops a model of information system to monitor the characteristics of the rolling stock. A number of artificial neural network architectures have been analyzed, and a convolutional neural network algorithm for determining the percentage of the rolling stock current collector wear on the basis of pictures has been proposed. The algorithm includes image preprocessing, creation of convolutional neural network model, its training and use for classification of new images.

Keywords: artificial neural networks, neural network technologies, information technologies, railway transport, remote monitoring.

REFERENCES

1. Gertsenzon M. A., Tumashevich A. A., Borisov A. A. Control of rolling stock of railway transport: Monograph [Kontrol sostoyaniya podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta: Monografiya]. Moscow, Urait Publishing House, 2016, 240 p.
2. Karelin A. S., Dvoretzky D. V. Methods of determining the parameters of electric train current collector: Monograph [Metody opredeleniya parametrov tokopriemnika elektropoezda: Monografiya]. Moscow, Moscow Aviation Institute, 2017, 142 p.
3. Mikhaylov G. S., Shinkareva L. V., Sorokina O. A. Computer technologies in transport systems: Study guide [Kompyuternye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Uchebnoe posobie]. Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 2017, 204 p.
4. Frolova S. E., Zabrodin A. V. The Architecture of the System of Automated Recognition of Rolling Stock Units [Arkhitektura sistemy avtomatizirovannogo raspoznaniya edinit podvizhnogo sostava], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2021, No. 1 (25), Pp. 15–20. DOI: 10.24412/2413-2527-2021-125-15-20.
5. Gusarov V. M., Rubtsova E. V., Zolotarev V. A. Information technologies for rolling stock management: Study guide [Informatsionnye tekhnologii dlya upravleniya podvizhnym sostavom: Uchebnoe posobie]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute, 2013, 223 p.
6. Zamyatina N. V., Kamaev V. I. Monitoring the technical condition of electrified railroads: Study guide [Kontrol tekhnicheskogo sostoyaniya elektrifitsirovannykh zheleznnykh dorog: Uchebnoe posobie]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute, 2016, 176 p.
7. Smerdin A. N., Golubkov A. S., Najden S. N. Automatized System for Diagnosis of State Pantograph Based on Computer Vision Complex [Avtomatizirovannaya sistema diagnostiki sostoyaniya tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava na osnove videoizmeritelnogo kompleksa], *Journal of Transsib Railway Studies [Izvestiya Transsiba]*, 2012, No. 2 (10), Pp. 103–109.
8. Baranovsky A. M., Silantyev S. B., Smolitsky Kh. L., Yafrakov M. F. Synthesis of Hopfield Neuro-Like Network for Solving Systems of Linear Algebraic Equations [Sintez neyropodobnoy seti Khopfilda dlya resheniya sistem lineynykh algebraicheskikh uravneniy], *Journal of Instrument Engineering [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie]*, 1994, Vol. 37, No. 3-4, Pp. 47–51.
9. Gluhov A. P., Baranovskiy A. M., Fomenko Y. S., Bochkov A. P. Adapted Model Neural-Like Hopfield Network and the Algorithm of Its Training for Finding the Roots Systems of Linear Algebraic Equations. In: *Silhavy R. (ed.) Artificial Intelligence in Intelligent Systems (CSOC 2021): Proceedings of the 10th Computer Science On-line Conference 2021 (Zlin, Czech Republic, April 2021), Volume 2. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 229. Cham, Springer Nature, 2021, Pp. 386–395. DOI: 10.1007/978-3-030-77445-5_36.
10. Sivitsky D. A. Experience Analysis and Using Prospects of Artificial Neural Networks on Railway Transport [Analiz opyta i perspektiv primeneniya iskusstvennykh neyronnykh setey na zheleznodorozhnom transporte], *The Siberian Transport University Bulletin [Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2021, No. 2 (57), Pp. 33–41. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_57_33.
11. Liu X., Zhang X., Tang Q. Research on the Train State Online Monitoring and Early Warning System Based on Neural Network, *Journal of Computational Information Systems*, 2014, Vol. 10, No. 8, Pp. 3429–3436.
12. Dragalin A. G. Artificial neural networks. Fundamentals of theory [Iskusstvennye neyronnye seti. Osnovy teorii]. Moscow, Fizmatlit, 2015, 352 p.
13. Shiryaev V. I. Financial markets: Neural networks, chaos and nonlinear dynamics: Study guide [Finansovye rynki: Neyronnye seti, khaos i nelineynaya dinamika: Uchebnoe posobie]. Moscow, URSS Publishing Group, Librokom Book House, 2013, 232 p.
14. Rostovtsev V. S. Artificial neural networks: A textbook for universities [Iskusstvennye neyronnye seti: Uchebnik dlya vuzov]. Saint Petersburg, LAN Publishing House, 2023, 216 p.