

УДК 629.42-192

Применение технологии неразрушающего контроля на подвижном составе и перспективы ее развития

Шэнь Цзеи, А. Е. Цаплин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Шэнь Цзеи, Цаплин А. Е. Применение технологии неразрушающего контроля на подвижном составе и перспективы ее развития // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 1. — С. 31–44. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-31-44

Аннотация

Цель: Статья посвящена исследованию процесса интеграции инновационных технологий в системы неразрушающего контроля (НК) подвижного состава железных дорог. Рассматриваются традиционные методы НК, такие как ультразвуковой, магнитопорошковый и вихретоковый контроль, а также их возможности и ограничения в условиях современных требований к безопасности и эффективности эксплуатации. Основное внимание уделено использованию умных очков и технологий машинного зрения как вспомогательных инструментов для повышения точности диагностики, оперативности выявления дефектов и улучшения взаимодействия с экспертами. Умные очки рассматриваются как средство визуализации данных в реальном времени, что способствует ускорению процессов диагностики и снижению зависимости от квалификации оператора. Технологии машинного зрения, в свою очередь, обеспечивают автоматическую идентификацию дефектов, что значительно снижает вероятность человеческой ошибки и повышает точность контроля. **Методы:** Исследования включают анализ актуальной литературы, изучение передовых практик применения НК в железнодорожной отрасли, а также прогнозирование возможных технологических решений на основе существующих тенденций. Особое внимание уделено интеграции умных очков как инструмента для визуализации данных в реальном времени и использования машинного зрения для автоматизации процесса диагностики. Рассматриваются также возможности взаимодействия с удаленными экспертами и интеграции с облачными платформами для анализа данных. **Результаты:** Оценено, что интеграция умных очков и машинного зрения в процессы НК подвижного состава способствует повышению точности диагностики, ускорению процесса контроля и снижению человеческого фактора. Также показано, что использование этих технологий позволяет эффективно анализировать данные и получать рекомендации по ремонту в реальном времени. **Практическая значимость:** На основе проведенного анализа изложены перспективы внедрения инновационных технологий в процессы неразрушающего контроля (НК), что способствует улучшению безопасности, повышению точности диагностики и оптимизации процессов технического обслуживания подвижного состава. В условиях современной эры искусственного интеллекта применение систем машинного зрения может обеспечить более точную обработку данных для обслуживания подвижного состава, что, в свою очередь, значительно снижает затраты на трудовые ресурсы.

Ключевые слова: Неразрушающий контроль, подвижной состав, умные очки, искусственный интеллект, железнодорожный транспорт.

Введение

В процессе эксплуатации подвижного состава, подвергающегося воздействию ударов, вибраций, трения и коррозии, компоненты со временем испытывают износ, деформацию, старение и повреждения. Эти изменения могут привести к сбоям в работе транспортных средств, что, в свою очередь, создает угрозу безопасности движения. В условиях активного развития современных электронных технологий и сенсорных систем традиционные методы неразрушающего контроля (НК) продолжают совершенствоваться, а также внедряются новые методики, направленные на улучшение диагностики и технического обслуживания железнодорожных транспортных средств. Технологии НК основаны на использовании физических принципов для анализа и выявления дефектов на поверхности или внутри исследуемого объекта без его повреждения [1]. За последние годы на основе традиционных методов НК, таких как ультразвуковой, магнитопорошковый, капиллярный, радиографический и вихретоковый контроль, были разработаны новые подходы, однако их эффективное применение в реальных эксплуатационных условиях требует дальнейших исследований и оценок.

Машинное зрение, как отрасль искусственного интеллекта, использует технологические системы, заменяющие человеческий глаз для измерений и оценки. Эти системы преобразуют захваченные изображения в цифровые сигналы, которые передаются в специализированные системы обработки изображений, например: система динамического обнаружения неисправностей электропоезда TEDS-3D — Trouble of moving EMU Detection System, используемая в Китае [2]. Далее данные анализируются с учетом таких характеристик, как яркость, цвет и распределение пикселей. Эти цифровые сигналы подвергаются дополнительной обработке, что позволяет получить результаты классификации. Интеллектуальные роботы с машинным зрением, сочетающие технологии машинного зрения и искусственного интеллекта, могут значительно повысить степень автоматизации процессов на производстве, особенно при крупных и повторяющихся проверках. Внедрение роботизированных систем с машинным зрением в процесс НК способствует не только повышению эффективности и безопасности производства, но и улучшению точности обнаружения дефектов, что крайне важно для обеспечения качества продукции. Умные очки, такие как Google Glass и Microsoft HoloLens, могут быть использованы для передачи данных, полученных с помощью традиционных методов НК, например для ультразвуковых дефектоскопов или термографических камер [3]. Использование умных очков в НК открывает новые перспективы в проведении диагностики, предоставляя оператору возможность получать данные в реальном времени, визуализировать их непосредственно на объекте и взаимодействовать с удаленными экспертами. Эти устройства позволяют операторам передавать изображения, снятые в процессе контроля, на экран в реальном

времени, что способствует улучшению взаимодействия с экспертами и оптимизации процесса обучения персонала.

Технология неразрушающего контроля и применение железнодорожного подвижного состава

В отличие от разрушающего контроля, методы НК могут быть применены на всех этапах жизненного цикла изделий — как при производстве и ремонте, так и в процессе эксплуатации [4].

Далее рассмотрим часто используемые методы неразрушающего контроля подвижного состава применительно к тележке.

Тележка является одним из ключевых узлов подвижного состава. Она состоит в основном из буксового устройства, рессорной подвески, рамы (бортовой рамы), основного тормозного устройства и устройства поддержки кузова вагона (рис. 1). Состояние тележки непосредственно влияет на безопасность эксплуатации поезда.

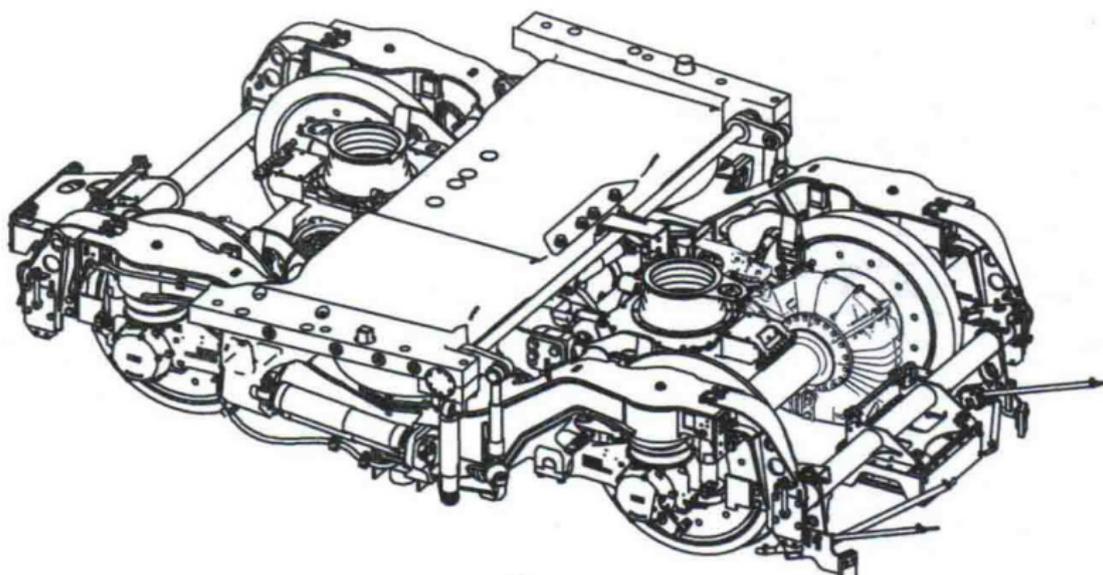


Рис. 1. Тележка CRH380BL

Колесная пара — элемент ходовой части рельсовых транспортных средств, представляющий собой пару колес, жестко установленных на ось и вращающихся вместе с ней как единое целое. Колесная пара принимает на себя весь вес подвижного состава, движется по пути с высокой скоростью и воспринимает различные статические и динамические нагрузки от кузова вагона и рельсов. Поэтому для обеспечения ее надежности и безопасности эксплуатации необходимо проводить неразрушающий контроль колесных пар. В этой статье в качестве примера мы рассмотрим дефекты осей и дефекты колес.

Магнитопорошковый контроль

Магнитопорошковый контроль (МПК) — это метод неразрушающего контроля, основанный на использовании магнитного поля и магнитного порошка для выявления дефектов на поверхности или вблизи поверхности материалов, в первую очередь металлических.

На железнодорожном транспорте магнитопорошковому контролю подвергаются следующие компоненты подвижного состава: детали ударно-тягового и тормозного оборудования; рамы тележек различных моделей, как в сборе, так и по отдельным элементам; шкворни; оси всех типов колесных пар, как в сборе, так и в отдельном состоянии; свободные кольца буксовых подшипников, а также внутренние кольца, напрессованные на шейки оси; упорные кольца, стопорные планки, пружины, болты и другие элементы [5].

Преимущества МПК: простота и низкая стоимость; способность выявлять дефекты на поверхности и вблизи поверхности; высокая чувствительность к мелким дефектам (например, трещинам или пористости); применимость к большинству ферромагнитных материалов (сталь, чугун и др.).

Ограничения: МПК не может выявлять дефекты, расположенные глубже чем на несколько миллиметров от поверхности; не подходит для немагнитных материалов (например, алюминий, медь); сложно автоматизировать.

Ультразвуковой контроль

Ультразвуковой контроль (УЗК) в железнодорожной отрасли является методом неразрушающего контроля, который применяется для диагностики состояния таких компонентов, как колесные пары, оси, рельсы и другие металлические элементы подвижного состава, а также инфраструктуры. Этот метод позволяет выявлять дефекты, не видимые на поверхности, такие как внутренние трещины, поры или коррозию. Особенно важным является применение УЗК для контроля сварных швов, например, на раме тележки, где некоторые важные швы требуют обработки проплавлением для обеспечения прочности конструкции. Для предотвращения дефектов сварки, таких как неполный провар и непровар, необходимо проводить внутренний контроль сварных швов. Благодаря высокой чувствительности, низкой стоимости оборудования, удобству эксплуатации и способности точно идентифицировать форму дефекта, ультразвуковой контроль является основным методом для дефектоскопии внутренних дефектов сварных швов на тележках, что способствует обеспечению их качества и безопасности [6].

Принцип работы: ультразвуковой контроль основывается на применении высокочастотных звуковых волн (ультразвука), которые проходят через материал. Процесс контроля включает следующие этапы: 1) посылка ультразвуковых волн:

ультразвуковой дефектоскоп посылает ультразвуковые волны через проверяемый объект с помощью пьезоэлектрического датчика; 2) отражение волн от дефектов: когда ультразвуковая волна сталкивается с дефектом или границей различных материалов внутри объекта (например, трещины или поры), она отражается и возвращается к датчику; 3) анализ отраженных волн: время, которое требуется для возврата отраженной волны, и ее интенсивность анализируются с помощью специального оборудования. Это позволяет точно определить наличие, размеры и местоположение дефектов (рис. 2) [7].



Рис. 2. Зоны УЗК черновых осей на выявление внутренних дефектов

Преимущества УЗК: глубокое проникновение: УЗК позволяет выявлять внутренние дефекты, которые недоступны для визуального осмотра; высокая точность: метод обеспечивает высокую точность и позволяет точно локализовать дефекты; безопасность и сохранность объектов: УЗК не нарушает целостность проверяемого объекта и позволяет сохранить его пригодность для эксплуатации.

Ограничения: требует наличия контактных зон для передачи ультразвуковых волн; не всегда эффективен для материалов с сильно неоднородной структурой или при сложных формах дефектов.

Вихретоковый контроль

Вихретоковый контроль (ВТК) — это метод неразрушающего контроля, основанный на применении принципа индукции вихревых токов для обнаружения дефектов в металлических объектах, преимущественно на их поверхности и вблизи поверхности [8].

Принципы работы: 1) создание магнитного поля: вихретоковый контроль начинается с того, что на поверхность объекта подается переменный ток, создающий магнитное поле. Это магнитное поле индуцирует вихревые токи в материале; 2) реакция материала на токи: вихревые токи возникают в проводящем материале, и их распределение зависит от структуры материала, а также от наличия дефектов, таких как трещины, поры или коррозия; 3) обнаружение отклонений: если в материале имеются дефекты, они изменяют распределение вихревых токов, что вызывает искажения в магнитном поле. Эти изменения могут быть зафиксированы

с помощью специальных датчиков и анализаторов; 4) анализ данных: сигналы, полученные от датчиков, анализируются, что позволяет выявить и локализовать дефекты [9].

Преимущества ВТК: высокая чувствительность, ВТК эффективно обнаруживает поверхностные и близкие к поверхности дефекты, включая микротрещины и коррозию; безопасность: метод не повреждает объект, что делает его подходящим для проверки ключевых компонентов без их разрушения; быстрота: ВТК позволяет быстро получить результаты без необходимости демонтировать компоненты; многофункциональность: вихретоковый контроль может применяться не только для проверки металлов, но и для других проводящих материалов.

Ограничения: поверхностные дефекты, ВТК эффективен только для обнаружения дефектов, расположенных на поверхности или вблизи поверхности материала.

Интеграция инновационных технологий в процессы неразрушающего контроля на подвижном составе

С развитием современных технологий и наступлением эры знаний традиционные методы неразрушающего контроля продолжают совершенствоваться. В процессе производства и технического обслуживания железнодорожных транспортных средств все чаще применяются инновационные подходы в области неразрушающего контроля. Одной из ключевых технологий является машинное зрение, которое способствует реализации цифрового и интеллектуального контроля состояния подвижного состава.

Использование умных очков в неразрушающем контроле

Умные очки являются одним из наиболее перспективных инструментов для улучшения процесса неразрушающего контроля (НК). Они предлагают операторам и специалистам уникальную возможность получать, отображать и анализировать данные в реальном времени, что значительно ускоряет диагностику и повышает точность контроля [10].

Основные функции умных очков при неразрушающем контроле:

- отображение данных в реальном времени: умные очки позволяют отображать результаты тестирования и данные о состоянии объекта прямо в поле зрения оператора. Например, данные ультразвукового дефектоскопа или изображение с термографической камеры могут быть переданы на дисплей очков, что позволяет специалисту анализировать ситуацию без необходимости отвлекаться от процесса контроля;
- удаленная поддержка: умные очки могут быть оснащены камерой и системой передачи данных, что позволяет оперативно передавать изображения или видео на экран удаленным экспертам для консультаций или диагностики. Это

особенно важно для сложных проверок, когда требуется множественное мнение или помощь эксперта [11];

– интерактивность и голосовое управление: современные модели умных очков могут поддерживать голосовое управление, что позволяет оператору управлять системой без использования рук, оставляя их свободными для работы с инструментами;

– сбор и архивирование данных: умные очки могут автоматически фиксировать результаты тестов и состояние проверяемых объектов. Эти данные могут быть сохранены для дальнейшего анализа или документации, что повышает точность отчетности и упрощает хранение информации.

Возможность совмещения умных очков с различными методами неразрушающего контроля

1. Ультразвуковой контроль (УЗК)

Интеграция умных очков с ультразвуковыми дефектоскопами позволяет отображать результаты измерений непосредственно на экране в реальном времени. Это позволяет оператору немедленно анализировать состояние компонента без необходимости возвращаться к прибору для получения данных, что значительно ускоряет процесс диагностики и повышает его эффективность.

Преимущества интеграции: мгновенное отображение данных, включая графики и результаты измерений в реальном времени, что ускоряет процесс принятия решений; возможность проведения совместного анализа с удаленными экспертами через видеоконференцию, что повышает точность диагностики и улучшает качество взаимодействия.

2. Магнитопорошковый контроль (МПК)

Умные очки могут быть использованы для отображения изображений, полученных с помощью магнитопорошкового контроля, что обеспечивает более быстрый и точный анализ результатов. Кроме того, с помощью видеопотока, передаваемого через умные очки, специалисты могут получить удаленную консультацию и обсудить обнаруженные дефекты, что улучшает процесс принятия решений и повышает качество контроля.

Преимущества интеграции: визуализация дефектов в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на результаты и повышает точность диагностики; возможность обработки изображений для выделения дефектов и последующей отправки данных в облачные системы для хранения, анализа и дальнейшего использования.

3. Вихретоковый контроль (ВТК)

Умные очки могут отображать результаты вихретокового контроля в реальном времени, позволяя операторам точно и быстро локализовать дефекты. Это также позволяет специалистам оперативно реагировать на проблемы, не отвлекаясь от объекта проверки.

Преимущества интеграции: быстрая диагностика дефектов без необходимости постоянного обращения к прибору, что повышает оперативность проведения контроля; возможность взаимодействия с удаленными экспертами для получения консультаций по сложным или спорным случаям, что улучшает точность и качество диагностики.

Хотя использование умных очков значительно улучшает процессы диагностики, оно также накладывает дополнительные требования к квалификации и техническим знаниям специалистов, проводящих неразрушающий контроль. Это связано с тем, что операторы должны не только быть квалифицированными в методах НК, но и уметь работать с высокотехнологичными устройствами, такими как умные очки.

Для выполнения процедур НК с использованием умных очков инспектора должны пройти сертификацию согласно международным стандартам, таким как ISO 9712 или ГОСТ 34513—2013, которые определяют требования к квалификации специалистов в области неразрушающего контроля.

Системы машинного зрения, реализованные применительно к электрическому подвижному составу

В последние годы в системе городского железнодорожного транспорта Китая активно внедряются технологии онлайн-тестирования, анализа больших данных и бесконтактного НК с использованием машинного зрения. Эти технологии совершенствуют методы обнаружения дефектов, процедуры технического обслуживания и управления эксплуатацией подвижного состава, способствуя оптимальному распределению ресурсов и улучшению качества обслуживания. Применение машинного зрения для оценки состояния транспортных средств становится важным направлением исследований и практических приложений в этой области [12].

Система динамического обнаружения неисправностей электропоезда (TEDS-3D) обеспечивает безопасную эксплуатацию электропоездов, играя важную роль в предотвращении аварий. Она использует высокоскоростные линейные камеры для сбора изображений нижней части поезда, кузова, тележек и других компонентов, автоматически выявляя неисправности и сигнализируя о дефектах. Обнаруженные изображения передаются в реальном времени

на терминал мониторинга, где ненормальные сигналы проверяются вручную и передаются для дальнейшего анализа. Это повышает эффективность операций и улучшает диагностику скрытых неисправностей во время технического обслуживания ЭВС.

Оборудование для обнаружения установлено рядом с путями. Когда транспортное средство проходит, блок модуля изображения активируется, собирает данные с нижней части и обеих сторон транспортного средства, а затем передает полученную информацию в шкаф через кабель связи в распределительную коробку и далее в компьютерный зал. В конечном итоге данные отправляются в центр динамического обнаружения EMU TEDS через сетевой канал.

Технические преимущества системы TEDS-3D

Технология 3D-изображений использует 3D-камеру для создания карты параллакса, что позволяет точно воспроизвести пространственное положение объекта. С помощью блока сканирования и параллельных вычислений на графическом процессоре данные облака точек рассчитываются в реальном времени. В отличие от 2D-системы, которая часто вызывает ложные тревоги из-за ручных меток, 3D-технология устраняет эти ложные тревоги и помехи, такие как следы воды. Частота ложных срабатываний в 3D-системе равна нулю, что делает ее более точной и надежной.

Аппаратно-программный комплекс ARSCIS

Компания «Малленом» разработала аппаратно-программный комплекс (АПК) ARSCIS, предназначенный для обнаружения и идентификации объектов подвижного состава (вагонов, цистерн, платформ и др.) на определенном участке железной дороги. Идентификация объектов осуществляется посредством оптического распознавания их регистрационных номеров, нанесенных на борта и балку шасси вагонов. Комплекс ARSCIS основан на оптико-электронных и электронно-вычислительных средствах, а его работа использует методы искусственного интеллекта, алгоритмы и программные средства анализа изображений и распознавания образов, разработанные учеными и инженерами ИМИТ СПбПУ и ООО «Малленом» [13].

Структурная схема типового варианта промышленного образца аппаратно-программного комплекса (АПК) ARSCIS представлена на рис. 3. Аппаратное обеспечение комплекса включает в себя: оптико-электронную подсистему сбора информации; датчики, фиксирующие положение колесных пар; вычислительную подсистему для обработки полученных данных, а также набор телекоммуникационных соединений.

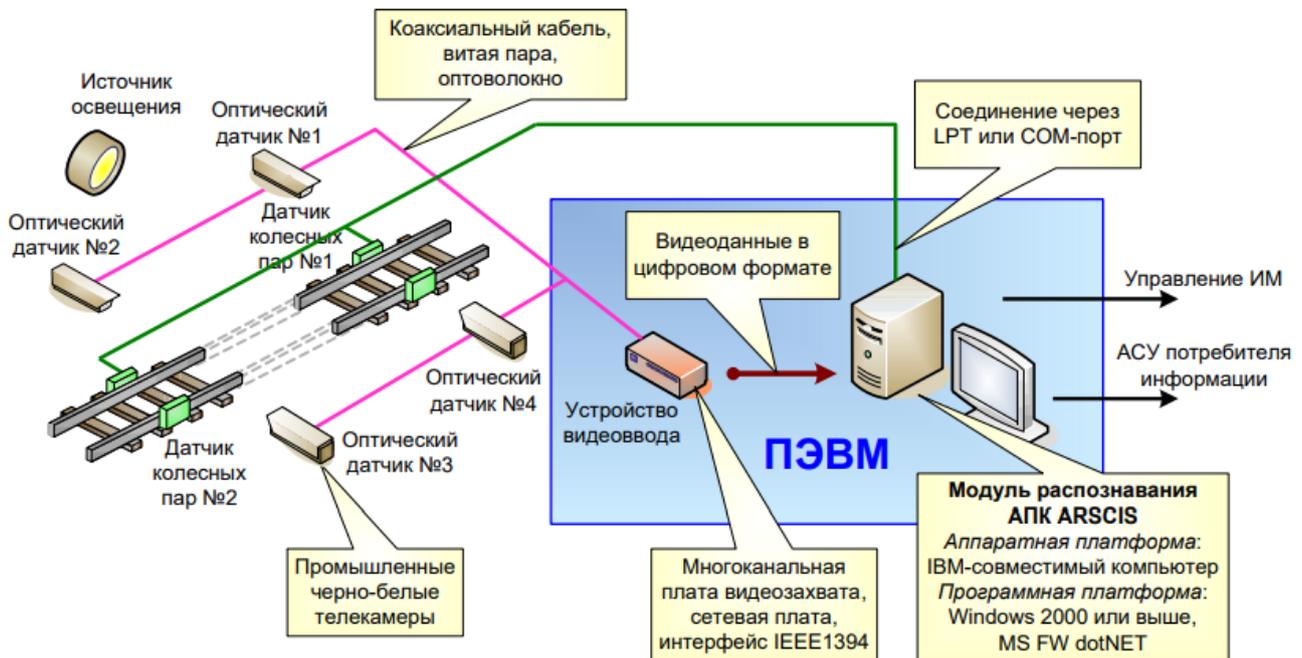


Рис. 3. Структурная схема типового варианта промышленного образца аппаратно-программного комплекса (АПК) ARSCIS

Аппаратно-программный комплекс (АПК) ARSCIS обеспечивает быстрое и достоверное обнаружение и идентификацию объектов подвижного состава, но ориентирован преимущественно на распознавание регистрационных номеров. При контроле узлов и деталей механической части электроподвижного состава алгоритмы распознавания, применяемые в комплексе, не обеспечивают достаточной точности для обнаружения поверхностных дефектов, что делает их использование в данном контексте нецелесообразным [14].

Заключение

Неразрушающий контроль играет жизненно важную роль на этапах проектирования и производства транспортных средств. В статье рассмотрены современные методы неразрушающего контроля подвижного состава с акцентом на инновационные технологии, такие как умные очки и машинное зрение. Эти технологии обладают значительным потенциалом для повышения точности, оперативности и безопасности диагностики, что открывает новые возможности для улучшения качества обслуживания и повышения надежности эксплуатации подвижного состава. Однако их внедрение связано с рядом ограничений, включая высокую стоимость, необходимость обучения персонала и возможные проблемы с совместимостью с существующими системами. Для успешного применения данных технологий необходимо провести дополнительные исследования их эффективности и надежности в реальных условиях эксплуатации, а также разработать стандарты

и нормативные акты. Несмотря на существующие трудности, перспективы развития этих методов остаются значительными, что может привести к существенным улучшениям в области контроля и диагностики на железных дорогах в будущем.

Список источников

1. Клюев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В. В. Клюев. — 3-е изд. — М.: Машиностроение, 2005. — 656 с.
2. Се Вэньян. Исследования по оптимизации архитектуры оборудования станции обнаружения TEDS для системы обнаружения неисправностей при работе электропоезда / Вэньян Се // Технология Zheng Tie. — 2018. — № 4. — С. 46.
3. ALEGER. Умные очки для дополненной реальности. — URL: <https://alegerglobal.com/ru/дополненная-реальность/умные-очки/> (дата обращения: 10.08.2024).
4. Бахова Л. В. Основные виды и методы неразрушающего контроля деталей и узлов железнодорожного подвижного состава / Л. В. Бахова // Вестник науки и творчества. — 2017. — № 6(18).
5. Технологическая инструкция по неразрушающему контролю деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Магнитопорошковый метод. ТИ НК В.21-2.2019.
6. Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования ПР НК В.2
7. ГОСТ 34656—2020. Оси колесных пар железнодорожного подвижного состава методы неразрушающего контроля.
8. ПР НК В.3. Правила неразрушающего контроля деталей тележек грузовых при ремонте, специальные требования.
9. Козлов М. В. Исследование метрологических характеристик вихретокового метода неразрушающего контроля вагонного парка / М. В. Козлов, А. А. Петров, Т. В. Левчук // Инновации и инвестиции. — 2021. — № 6.
10. RealWear. — URL: <https://www.realwear.com/> (дата обращения: 15.12.2024).
11. GRSE. — URL: <https://grse.ru/блог/технологии/будущее-промышленности-как-умные-очки/> (дата обращения: 24.10.2024).
12. Чжан Хэ. Интеллектуальная эксплуатация и техническое обслуживание городского железнодорожного транспорта. Обнаружение / Хэ Чжан, Хунвэй Йи, Ци Цао // Исследование городского железнодорожного транспорта. — 2020. — Т. 23. — № 4. — С. 89–93.
13. Малыгин Л. Л. Оптоэлектронная система идентификации объектов подвижного состава ARSCIS на станции Череповец Северной железной дороги / Л. Л. Малыгин, В. В. Мошников, В. А. Царев // Сборник докладов научно-практической конференции «Инновационные проекты, новые технологии и изобретения». — 27–28 октября 2005 г., Экспериментальное кольцо ВНИИЖТ. — М.: ВГУП ВНИИЖТ, 2005. — С. 122–130.
14. Цаплин А. Е. Совершенствование методов контроля деталей механической части электроподвижного состава применением оптико-электронных средств: автореф. дисс. ... канд.

техн. наук: 05.22.07 / А. Е. Цаплин. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2011. — 18 с.

Дата поступления: 16.12.2024

Решение о публикации: 05.02.2025

Контактная информация:

ШЭНЬ Цзеи — аспирант; 787612109@qq.com

ЦАПЛИН Алексей Евгеньевич — канд. техн. наук, доц.; tsaplin.alexey@mail.ru

Application of Non-Destructive Testing Technology on Rolling Stock and Prospects for Its Development

Shen Jieyi, A. E. Tsaplin

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Shen Jieyi, Tsaplin A. E. Application of Non-Destructive Testing Technology on Rolling Stock and Prospects for Its Development. *Bulletin of scientific research results*, 2025, vol. 22, iss. 1, pp. 31–44. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-31-44

Summary

Purpose: The article is devoted to the research of the integration of innovative technologies into non-destructive testing (NDT) systems on the railway rolling stock. Traditional NDT methods, such as ultrasonic, magnetic particle and eddy current inspection, as well as their potential and limitations are considered in the light of modern requirements to safety and operational efficiency. The focus is on the application of smart glasses and machine vision technologies as supporting tools for improving diagnostics accuracy, faster defect detection and better experts' interaction. Smart glasses are considered as a means of visualizing real-time data making diagnostics processes faster and reducing dependence on operators' proficiency. Machine vision technologies, in turn, provide automatic defect detection, which significantly reduces human error factor and improves inspection accuracy. **Methods:** The research includes analyzing current publications, studying the best NDT application practices in the railway industry, and technological forecasting based on the current trends. Particular attention is paid to the integration of smart glasses as a tool for real-time data visualization and the use of machine vision designed to automate the diagnostics process. Remote experts' interaction and cloud platform integration for data analysis have also been discussed. **Results:** The integrated smart glasses and machine vision for rolling stock diagnostics has proved to increase diagnostics accuracy, make NDT process faster, and reduce human error. The use of the above-stated technologies enables efficient data analysis and real-time remedial recommendations. **Practical significance:** Based on the analysis conducted, the prospects of the innovative technology introduction in the processes of non-destructive testing (NDT) have been outlined. The above-stated technologies will improve safety, increase the diagnostics accuracy and optimize the rolling stock maintenance. In the modern era of artificial intelligence, the use of machine vision systems can provide a more accurate data processing for rolling stock maintenance, which will lead to significant labour cost reduction.

Keywords: Non-destructive testing, rolling stock, smart glasses, artificial intelligence, railway transport.

References

1. Klyuev V. V. *Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika: Spravochnik. 3-e izd.* [Non-destructive testing and diagnostics: Handbook. 3rd ed.]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2005, 656 p. (In Russian)
2. Se Ven'yan. Issledovaniya po optimizatsii arkhitektury oborudovaniya stantsii obnaruzheniya TEDS dlya sistemy obnaruzheniya neispravnostey pri rabote elektropoezda [Research on optimization of the TEDS detection station equipment architecture for the fault detection system during electric train operation]. *Tekhnologiya Zheng Tie* [Zheng Tie Technology]. 2018, Iss. 4, p. 46. (In Russian)
3. ALEGER. *Umnye ochki dlya dopolnennoy real'nosti* [ALEGER. Smart glasses for augmented reality]. Available at: <https://alegerglobal.com/ru/dopolnennaya-real'nost'/umnye-ochki/> (accessed: August 10, 2024). (In Russian)
4. Bakhova L. V. Osnovnye vidy i metody nerazrushayushchego kontrolya detaley i uzlov zhelezodorozhnogo podvizhnogo sostava [Main types and methods of non-destructive testing of parts and assemblies of railway rolling stock]. *Vestnik nauki i tvorchestva* [Bulletin of science and creativity]. 2017, Iss. 6(18). (In Russian)
5. *Tekhnologicheskaya instruktsiya po nerazrushayushchemu kontrolyu detaley i sostavnykh chastey kolesnykh par vagonov pri remonte. Magnitoporoshkovyy metod. TI NK V.21-2.2019* [Technological instruction for non-destructive testing of parts and components of wagon wheelsets during repair. Magnetic particle method. TI NK V.21-2.2019]. (In Russian)
6. *Pravila nerazrushayushchego kontrolya detaley i sostavnykh chastey kolesnykh par vagonov pri remonte. Spetsial'nye trebovaniya PR NK V.2* [Rules for non-destructive testing of parts and components of wagon wheelsets during repair. Special requirements PR NK V.2]. (In Russian)
7. *GOST 34656—2020. Osi kolesnykh par zhelezodorozhnogo podvizhnogo sostava metody nerazrushayushchego kontrolya* [GOST 34656—2020. Axles of wheelsets of railway rolling stock. Non-destructive testing methods]. (In Russian)
8. *PR NK V.3. Pravila nerazrushayushchego kontrolya detaley telezhek gruzovykh pri remonte, spetsial'nye trebovaniya* [PR NK V.3. Rules for non-destructive testing of freight bogie parts during repair, special requirements]. (In Russian)
9. Kozlov M. V., Petrov A. A., Levchuk T. V. Issledovanie metrologicheskikh kharakteristik vikhretokovogo metoda nerazrushayushchego kontrolya vagonnogo parka [Study of metrological characteristics of the eddy current method of non-destructive testing of wagon fleet]. *Innovatsii i investitsii* [Innovations and investments]. 2021, Iss. 6. (In Russian)
10. RealWear. Available at: <https://www.realwear.com/> (accessed: December 15, 2024).
11. GRSE. Available at: <https://grse.ru/blog/tekhnologii/budushchee-promyshlennosti-kak-umnye-ochki/> (accessed: October 24, 2024).
12. Chzhan Khe, Yi Khunvey, Tsao Tsi. Intellektual'naya ekspluatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie gorodskogo zhelezodorozhnogo transporta. Obnaruzhenie [Intelligent operation and maintenance of urban rail transport. Detection]. *Issledovanie gorodskogo zhelezodorozhnogo transporta* [Research of urban rail transport]. 2020, vol. 23, Iss. 4, pp. 89–93. (In Russian)

13. Malygin L. L., Moshnikov V. V., Tsarev V. A. Optoelektronnaya sistema identifikatsii ob»ektov podvizhnogo sostava ARSCIS na stantsii Cherepovets Severnoy zheleznoy dorogi [Optoelectronic system for identification of rolling stock objects ARSCIS at the Cherepovets station of the Northern Railway]. *Sbornik докладов nauchno-prakticheskoy konferentsii “Innovatsionnye proekty, novye tekhnologii i izobreteniya”*. 27–28 oktyabrya 2005 g., *Eksperimental’noe kol’tso VNIIZhT* [Collection of reports of the scientific and practical conference “Innovative projects, new technologies and inventions”. October 27–28, 2005, Experimental ring of VNIIZhT]. Moscow: VGUP VNIIZhT Publ., 2005, pp. 122–130. (In Russian)

14. Tsaplin A. E. *Sovershenstvovanie metodov kontrolya detaley mekhanicheskoy chasti elektropodvizhnogo sostava primeneniem optiko-elektronnykh sredstv: avtoref. disc. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.07* [Improvement of methods for testing parts of the mechanical part of electric rolling stock using optoelectronic means: author’s abstract. diss. ... Cand. of Engineering Sciences: 05.22.07]. St. Petersburg: Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Publ., 2011, 18 p. (In Russian)

Received: December 16, 2024

Accepted: February 05, 2025

Author’s information:

Jieyi SHEN — Postgraduate Student; 787612109@qq.com

Alexey E. TSAPLIN — PhD in Engineering, Associate Professor; tsaplin.alexey@mail.ru