

А. С. Тычков, Д. А. Чемоданов, А. А. Строганова

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Аннотация. Статья посвящена анализу применения информационных технологий, используемых для оптимизации технического содержания электроподвижного состава, рассмотрены особенности такого инструмента как цифровые двойники.

Ключевые слова: электроподвижной состав, информационные технологии, техническое содержание, цифровой двойник, диагностика.

Для цитирования: Тычков, А. С. Основные направления применения цифровых инструментов для технического содержания электроподвижного состава / А. С. Тычков, Д. А. Чемоданов, А. А. Строганова// Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 4. – С. 162–166. – DOI 10.46973/1818-5509_2025_4_162.

Надежность техники и безопасность железнодорожных перевозок напрямую зависят в первую очередь от исправности электроподвижного состава (ЭПС). Эксплуатация ЭПС сопровождается постепенным ухудшением его технического состояния вследствие естественного износа систем (особенно элементов механического и электрического оборудования). Кроме того, резко ухудшают состояние внезапные выходы элементов оборудования из работоспособного состояния, последствием которого могут стать аварийные ситуации, ведущие к нарушению графика движения и сходам подвижного состава с рельсового пути. Чтобы предотвратить возникновение подобных ситуаций необходимо своевременно и эффективно проводить диагностику всех критически важных элементов с целью выявления предотказного состояния. Реализация указанных негативных сценариев возможна по причине наличия ошибок при проектировании конструкции, некачественного проведения ремонтно-восстановительных работ (несоблюдение технологии), нарушения регламента эксплуатации.

Применяемая в настоящее время планово-предупредительная система обслуживания и ремонта ЭПС является недостаточно выгодной и ограниченной. Заход подвижного состава на техническое обслуживание и текущий ремонт осуществляется для оборудования еще не исчерпавшего свой ресурс, соответственно вызывая неоправданно высокие и излишние затраты на проведение ремонтно-восстановительных операций. Еще одним негативным моментом является невозможность эффективного контроля внезапных отказов и сбоев в работе ЭПС. Последствиями этого являются простои подвижного состава, сбои в графике движения поездов. Весь локомотивный комплекс несет убытки из-за недостаточного контроля критических узлов. Также одним из недостатков планово-предупредительной системы ремонта и обслуживания выступает чрезмерно частая организация контроля агрегатов, не выработавших свой ресурс, из-за чего производится разборка и ремонт до истечения срока службы, что приводит к дополнительным финансовым потерям. Изменение существующей системы требует применения передовых цифровых инструментов, способных оптимизировать принципы организации ремонтного цикла в депо.

Современные цифровые технологии оказывают трансформирующее воздействие на все сферы деятельности человека. Они дают возможность управлять значительными объемами информации (хранить/обрабатывать/передавать). Оперативный анализ информации позволяет формализовать комплексные операции и повысить скорость выполнения задач. Применение алгоритмов искусственного интеллекта позволяет оптимизировать рабочий процесс персонала и минимизировать вероятность возникновения ошибок, вызванных человеческим фактором.

Информационные технологии могут применяться и для мониторинга текущего состояния подвижного состава в реальном времени с целью выявления возможных отказов и

их своевременного устранения. Инструменты, включающие интернет вещей, обработку больших данных и предиктивную аналитику, формируют базис для перехода с системы планово-предупредительной к ремонту по фактическому состоянию [1, 2].

Чтобы обеспечить эффективность контроля и диагностирования при выполнении ремонтно-восстановительных работ предлагается двухуровневая система технического диагностирования и текущего ремонта электронных устройств электроподвижного состава с применением автоматизированных средств технической диагностики. Данное техническое решение определено необходимостью более точного выявления состояния оборудования, эффективному поиску возможных дефектов, что существенно повышает качество и уровень самого диагностического процесса, увеличивая тем самым показатели эксплуатационной готовности ЭПС. Ключевой проблемой существующих методов контроля и диагностики остаются довольно значительные временные затраты на классификацию состояния оборудования с отысканием дефектов. Поэтому необходимо модернизировать и улучшать, базирующиеся на известных методах оценки технического состояния уже эксплуатируемые системы диагностирования с целью минимизации длительности протекания процесса.

Рассмотрим такое средство мониторинга оборудования ЭПС, как систему контроля и диагностики электрооборудования «Доктор-030М», которая на протяжении нескольких десятилетий зарекомендовала себя как эффективный и надежный инструмент (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид системы контроля и диагностики «Доктор-030М»

Основной функционал указанной системы диагностики заключается в следующем:

- возможность контроля параметров электрооборудования с визуализацией результатов на встроенном дисплее;
- выявление неисправностей оборудования ЭПС;
- настройка параметров геометрической нейтрали в электродвигателях по данным контроля;
- проведение оценки временных параметров срабатывания и отпускания электрической коммутационной аппаратуры;
- возможность формирования и передачи по итогам диагностики отчёта для последующей работы на автоматизированном рабочем месте.

Семейство систем (приборов) контроля и диагностики «Доктор-030» позволяет по результатам проведенных исследований выполнять прогнозную оценку состояния элементов электрооборудования с возможным определением остаточного технического ресурса по ряду узлов. В процессе проведения диагностирования происходит накопление информации по каждой единице электроподвижного состава для конкретного оборудования, т.е. с привязкой к нему. Поэтому, используя потенциал такой информационной технологии, как работа с большими данными, появляется возможность выстраивания прогноза для конкретного узла подвижного состава.

Современные системы оценки технического состояния представляют собой программно-аппаратные комплексы, базирующиеся на цифровых технологиях с применением искусственного интеллекта. Одним из наиболее перспективных направлений является технология цифровых двойников [3, 4]. Данная технология получила широкое

распространение в мире, потому что она является весьма доступной и адаптивной для решения множества задач. Суть данного направления заключается в создании цифровой компьютерной модели рассматриваемого объекта (оборудования ЭПС).

Благодаря цифровым двойникам, появляется возможность анализа вариативности развития функционирования оборудования, с последующим прогнозом на основе полученной информации. Предлагается рассмотреть применение технологии цифровых двойников для проведения оценки технического состояния оборудования электроподвижного состава (рис. 2).



Рис. 2. Структурные элементы цифрового двойника

Процесс формирования цифрового двойника проходит в несколько этапов:

1. Разрабатывается CAD-модель, которую снабжают всей необходимой информацией;
2. В CAE-системах выполняется виртуальное тестирование модели с имитацией физических условий и возможных воздействий при помощи моделирования;
3. САМ-системы преобразуют модель в формат, необходимый для последующего реального производства;
4. проводится сбор и анализ данных о поведении готового объекта в процессе реальной эксплуатации с целью корректировки цифровой модели [5].

Остановимся подробнее на самом важном этапе – создании модели. Процесс проектирования виртуального прототипа сопровождается наполнением модели данными, необходимыми для осуществления следующих этапов. Использование средств инженерного анализа позволяет создать массив различных вариативных ситуаций, которые имитируют реальные процессы и позволяют отследить возможный отклик системы на внешние и внутренние воздействия. Рассматриваемый массив должен отражать каждый фактор, появление которого возможно при реальной эксплуатации объекта и способно повлиять на состояние, а также на функциональность единицы подвижного состава. Далее создается объект с параметрами, заданными в цифровом виде. Благодаря наличию системы хранения баз данных, цифровые двойники способны накапливать поступающую информацию.

Во время виртуальных испытаний оценивается качество каждого цифрового варианта изделия. Наилучший вариант при помощи автоматизированного производства превращается в реальный объект, пригодный для дальнейшей эксплуатации. В процессе эксплуатации информация с реальных объектов считывается и передается на цифровой двойник, где она хранится и при необходимости служит для корректировки цифрового двойника при возникновении отклонений во время проведения реальных испытаний на участке эксплуатации. Чтобы отследить результаты проведения испытаний, их заносят в специальный цифровой паспорт для дальнейшей корректировки в случае обнаружения недостатков существующей модели.

Целесообразно интегрировать диагностические модели ключевых узлов в цифровые двойники на этапе проектирования. Для первичного накопления информации предлагается использовать существующие системы диагностики, такие как «Доктор» и аналогичные, с обязательным дополнением массивом данных от микропроцессорной системы контроля и диагностики (МПСУиД). Совместное использование данных систем позволяет при создании цифровых двойников закладывать основу для применения методов диагностики на ранних стадиях проектирования, а также при обновлении цифровой модели (рис.3).



Рис. 3. Принципы реализации прескриптивной аналитики

Указанная последовательность действий позволит увеличить характеристики, отвечающие за уровень надёжности объекта. Основным преимуществом здесь является возможность на ранних этапах протестировать различные варианты контроля технического состояния для конкретного оборудования и подобрать наиболее сбалансированный тип оценки технического состояния по критериям технологической эффективности и экономических затрат. Таким образом, планово-предупредительная система ремонта и обслуживания должны быть модернизирована при помощи применения передовых цифровых решений с целью усовершенствования оценки технического состояния ЭПС. Применение цифровых технологий способствует сокращению издержек при проведении диагностических и контрольных операций.

Список литературы

1. Рыжова, Е. Л. Применение информационных технологий в системах диагностирования оборудования электроподвижного состава – методы, примеры их реализации, перспективы развития // Интеллектуальная Электротехника. 2025. № 3. С. 38-60. EDN CCTDNX.
2. Информационные технологии и системы диагностирования при эксплуатации и обслуживании электроподвижного состава : конспект лекций / И. М. Пышный. – Екатеринбург : УрГУПС, 2016. – 65 с.
3. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения : ГОСТ Р 57700.37-2021 : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 16 сентября 2021 г. N 979-ст : введен впервые : дата введения 2022-01-01. (Компьютерные модели и моделирование) // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ.:

References

1. Ryzhova, E. L. Application of information technologies in diagnostic systems for electric rolling stock equipment - methods, examples of their implementation, development prospects // Intelligent Electrical Engineering. 2025. No. 3. P. 38-60. EDN CCTDNX.
2. Information technologies and diagnostic systems in the operation and maintenance of electric rolling stock: lecture notes / I. M. Pyshny. - Ekaterinburg: Ural State University of Railways, 2016. - 65 p.
3. Computer models and modeling. Digital twins of products. General provisions: GOST R 57700.37-2021: national standard of the Russian Federation: approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 16, 2021 N 979-st: introduced for the first time: date of introduction 2022-01-01. (Computer models and modeling) // Code: electronic fund of legal and regulatory-technical information:

<https://docs.cntd.ru/document/1200180928>
(дата обращения: 11.11.2025).

4. **Гембух, Л.** Цифровые двойники: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Л. Гембух, В. М. Дмитриев, А. Е. Сахабутдинов. – Томск: ТУСУР, 2024. – 88 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/11055> (дата обращения: 11.11.2025).

5. **Будаев А. А., Третьяков Е. А.** Моделирование электрической части грузового электровоза на основе технологии «Цифровой двойник» // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 1. — С. 92–101. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-92-101.

<https://docs.cntd.ru/document/1200180928>
(date of access: 11.11.2025).

4. **Gembukh, L.** Digital Twins: A Tutorial [Electronic Resource] / L. Gembukh, V. M. Dmitriev, A. E. Sakhabutdinov. - Tomsk: TUSUR, 2024. - 88 p. - Access mode: <https://edu.tusur.ru/publications/11055> (accessed: 11.11.2025).

5. **Budaev A. A., Tretyakov E. A.** Modeling of the electrical part of a freight electric locomotive based on the "Digital Twin" technology // Bulletin of the St. Petersburg State Transport University. - St. Petersburg: PGUPS, 2025. - Vol. 22. - Issue. 1. - Pp. 92–101. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-92-101.

A. S. Tychkov, D. A. Chemodanov, A. A. Stroganova

THE MAIN DIRECTIONS OF APPLICATION OF DIGITAL TOOLS FOR THE TECHNICAL MAINTENANCE OF ELECTRIC ROLLING STOCK

Abstract. The article is devoted to the analysis of the application of information technologies used to optimize the technical content of electric rolling stock, the features of such a tool as digital twins are considered.

Keywords: electric rolling stock, information technology, technical content, digital twin, diagnostics.

For citation: Tychkov, A. S. The Main Directions of Application of Digital Tools for Technical Maintenance of Electric Rolling Stock / A. S. Tychkov, D. A. Suitcase, A. A. Stroganova // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2025. – № 4. – P. 162–166. – DOI 10.46973/1818-5509_2025_4_162.

Сведения об авторах

Тычков Александр Сергеевич

Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: a.tychkov@samgups.ru

Чемоданов Даниил Алексеевич

Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС),
аспирант,
e-mail: d.chemodanov@samgups.ru

Строганова Августа Александровна

Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС),
студент,
e-mail: avgusta.stroganova@yandex.ru

Information about the authors

Tychkov Alexander Sergeevich

Volga State Transport University (VSTU),
Chair «Traction Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
e-mail: a.tychkov@samgus.ru

Chemodanov Daniil Alexeyevich

Volga State Transport University (VSTU),
Postgraduate Student,
e-mail: d.chemodanov@samgups.ru

Stroganova Avgusta Aleksandrovna

Volga State Transport University (VSTU),
Student,
e-mail: avgusta.stroganova@yandex.ru