

Цифровой двойник рельсовой линии

Е.В. Тришина

Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

Обоснование. Работа устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) зависит от информационной инфраструктуры, обеспечивающей мониторинг состояния систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) [1]. Для снижения отказов требуется непрерывный контроль параметров, диагностика и выявление предотказных состояний. Решение этих задач требует разработки систем технического диагностирования [2].

Цель — анализ возможностей применения цифровых двойников для оптимизации диагностирования и мониторинга состояния элементов рельсовых линий.

Методы. Эффективное и надежное функционирование устройств ЖАТ невозможно без развитой информационной инфраструктуры, которая предоставляет обслуживающему персоналу информацию о состоянии компонентов схем и элементов устройств СЦБ. В условиях непрерывного функционирования систем ЖАТ необходимо проводить непрерывный мониторинг параметров компонентов схем, осуществлять диагностирование и распознавать предотказные состояния устройства ЖАТ.

Существующие системы диагностики часто используют ручные измерительные приборы, что требует непосредственного контакта с рельсовой цепью. Среднее время восстановления работоспособности устройств ЖАТ по железным дорогам распределяется от 0,3 часа до 1,5 часов [3].

Разработка алгоритмов для цифрового двойника включает в себя следующие этапы и компоненты:

1. Сбор данных.

Включает в себя непрерывный сбор данных с контроллеров и IoT-датчиков, например напряжение, ток, вибрация, температура и состояние устройств.

2. Обработка данных.

На этом этапе происходит предварительная обработка данных, эти данные фильтруются, нормализуются, после чего информацию сжимают и передают на центральный сервер.

3. Моделирование и прогнозирование.

Этот этап включает в себя обновление виртуальной модели физических объектов ЖАТ, классификацию их состояний с помощью ML-моделей. Затем прогнозируется остаточный ресурс ключевых компонентов с использованием ML-моделей.

3. Визуализация и принятие решений.

На данном этапе происходит интеграция с АПК-ДК и отправление данных в облако для долгосрочного анализа. После чего визуализируются состояния объектов ЖАТ, прогнозы и истории изменений в АРМ «Мониторинг» и автоматически генерируются рекомендации по ремонту и техническому обслуживанию.

4. Техническое обслуживание и обновление модели.

После проведения анализа рекомендаций, формируются заявки на техническое обслуживание, выполнение которых регистрируется.

Алгоритм выполняется непрерывно, обеспечивая постоянный мониторинг состояния объектов ЖАТ, прогнозирование неисправностей и оптимизацию процессов обслуживания.

Результаты. Исходя из этого, концепция применения цифровых двойников приобретает наибольшую актуальность. Рассмотрим преимущества цифровых двойников:

1. Удаленный мониторинг объекта в режиме реального времени из любой географической точки.

2. Возможность оперативно анализировать риски, а также многократно увеличить количество доступных тестов и экспериментов.

3. Система позволяет прогнозировать поведение объекта и предотвращать возникновение аварийных ситуаций.

4. Оптимизация затрат предприятия за счет точного расчета стоимости эксплуатации объекта или процесса.

Цифровой двойник рельсовой линии — это виртуальная копия реальной рельсовой инфраструктуры, созданная с использованием данных, собранных с различных датчиков и систем мониторинга.

Интеграция цифровых двойников в Систему технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) направлена на расширение возможностей системы мониторинга и диагностики, обеспечивает предупредительное управление, повышенную безопасность и снижение затрат [4]. Основные принципы включают непрерывный мониторинг, моделирование и прогнозирование, автоматизированное принятие решений, визуализацию и масштабируемость. Интегрированная система состоит из СТДМ, цифрового двойника и интеграционного слоя, обеспечивающего обмен данными. Интеграция цифровых двойников в СТДМ — стратегическое направление, обеспечивающее переход к предупредительному управлению, повышение безопасности и оптимизацию затрат.

Выводы. Проведенное исследование позволило всесторонне рассмотреть применение технологии цифровых двойников для диагностики и мониторинга состояния рельсовых линий. Полученные результаты демонстрируют значительный потенциал использования цифровых двойников для повышения эффективности технического обслуживания и для обеспечения безопасности движения.

Ключевые слова: цифровой двойник; диагностика; мониторинг; рельсовая линия; виртуальная модель; техническое обслуживание.

Список литературы

1. Надежкин В.А., Надежкина С.А., Данилина П.А. К вопросу автоматизации технической диагностики и мониторинга. Современные вызовы транспортной отрасли: новые возможности // Материалы межвузовской научно-практической конференции транспортных вузов. Санкт-Петербург, 20–21 февраля 2025 года. Москва: Дашков и К, 2025. С. 193–195. EDN: ARCJFG
2. Тарасов Е.М., Тарасова А.Е., Надежкин В.А. Принцип построения автоматизированной системы мониторинга и диагностики напольных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Электротехника. 2023. № 10. С. 15–18. doi: 10.53891/00135860_2023_10_15 EDN: CQEIBN
3. Тарасов Е.М., Надежкин В.А., Надежкина С.А. Анализ эффективности эксплуатации систем технической диагностики и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2025. № 1(42). С. 103–108. doi: 10.31079/2415-8658-2025-1-102-107 EDN: CCTPWS
4. Ефанов Д.В., Хорошев В.В. Новый подход к диагностированию устройств ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 3. С. 22–26. doi: 10.34649/AT.2022.3.3.003 EDN: UNCOZQ

Сведения об авторе:

Екатерина Владимировна Тришина — студентка, группа СОДП-13, электротехнический факультет; Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия. E-mail: katya.trishina.03@mail.ru

Сведения о научном руководителе:

Снежана Андреевна Надежкина — преподаватель кафедры АТС; Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия. E-mail: Snezhana.sarycheva.97@mail.ru