

УДК 629.4:621.311.6

ЦИФРОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ УДАРНЫХ НАГРУЗОК НА ГРУЗОВЫХ ВАГОНАХ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЕ НА БАЗЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

Данилов Д.А.¹, студент гр. ПСЖД-12, V курс

Научный руководитель: Шмойлов А.Н.¹ к.т.н., доцент

¹Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара

Железнодорожный транспорт – одна из ключевых отраслей экономики, обеспечивающая перевозку грузов и пассажиров. Бесперебойность и безопасность процесса зависят от исправности всех элементов вагонов. Традиционная система эксплуатации, основанная на планово-предупредительных ремонтах и текущем осмотре, имеет существенные ограничения: субъективность осмотрщика, отсутствие непрерывного мониторинга состояния узлов в движении и сложность прогнозирования отказов [1].

Развитие цифровых технологий открывает новые возможности для технической диагностики. Интеллектуальные системы на базе искусственного интеллекта (ИИ) эффективно обрабатывают данные от датчиков (температуры, вибрации, акустики, видео), выявляют скрытые закономерности и прогнозируют неисправности. Например, методы компьютерного зрения уже успешно применяются для анализа состояния тормозных колодок, колёсных пар и рам тележек.

Актуальность темы обусловлена необходимостью повысить достоверность контроля, снизить влияние человеческого фактора и перейти к обслуживанию по фактическому состоянию с элементами прогнозирования.

В рамках анализа современных решений рассмотрена отечественная бортовая телеметрическая система «Цифровой грузовой вагон» (ЦГВ-1). Она монтируется на вагон для непрерывного мониторинга его состояния и параметров движения в реальном времени [2]. В системе реализован модуль прогнозирования износа гребня колеса, зафиксированы случаи подтверждения выщербин обода по данным датчиков. В перспективной версии ЦГВ-2 планируется контролировать давление в тормозной системе, температуру буксовых узлов и ускорения тележки – для полноценной предиктивной аналитики.

Бортовые системы, такие как ЦГВ-1, позволяют накапливать индивидуальную историю нагрузок на вагон и переходить к ремонту по фактическому состоянию, что соответствует концепции «Интернета вещей» (IoT) на железнодорожном транспорте.

Ключевая проблема – обеспечение надёжного электропитания бортовой аппаратуры. Конструкция вагона не предусматривает автономных источников питания, что создаёт сложности:

- ограниченный ресурс аккумуляторов (до 6 лет);
- отсутствие унифицированного решения (установка генераторов требует конструктивных изменений ходовой части);
- жёсткие условия эксплуатации (температуры от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$, влажность, запылённость, воздействие реагентов).

Для совершенствования диагностики предлагается использовать бортовое устройство с беспроводным модулем контроля ударных нагрузок на базе вибрационного пьезоэлектрического преобразователя колебаний (ВПП) и автономного электропитания.

Пьезоэлектрические генераторы должны согласовываться с низкочастотным спектром вибраций (1,5–18 Гц) и выдерживать высокие ударные нагрузки [3]. Перспективны консольные конструкции с грузами для понижения резонансной частоты и многокомпонентные системы сбора энергии по трём осям. Мощность до 3,5 мВт на элемент достаточна для питания телеметрических модулей при эффективных схемах преобразования энергии. Проблемы – низкая эффективность на малых скоростях и обеспечение надёжности в суровых условиях.

Программная часть содержит модуль предиктивной аналитики на базе алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта. Он обрабатывает данные телеметрии, прогнозирует износ гребня колеса, выявляет дефекты (выщербины обода, трещины, износ) и накапливает индивидуальную историю нагрузок для каждого вагона. Предусмотрена фильтрация и сжатие данных на борту устройства, а также интеграция с ERP-системами для планирования ремонтов и диспетчерскими интерфейсами для визуализации данных и автоматических оповещений о критических событиях.

Нормативное соответствие подтверждается сертификацией по ГОСТ Р, для железнодорожного оборудования, климатическими испытаниями (влажность, температура), тестами на виброустойчивость и электромагнитную совместимость.

Важно отметить следующие технические особенности разрабатываемого устройства: энергоавтономность, помехоустойчивость, защита от ложного срабатывания, долгий срок службы и нечувствительность к перепадам температур и повышенным динамическим нагрузкам. В основы энергонезависимости данного устройства положен процесс получения электрической энергии при периодических колебаниях и ударных воздействиях. Важно, пояснить, что генерация электрической энергии происходит при прямом пьезоэффекте. При ударных нагрузках происходит сжатие и растяжение кристаллической решетки пьезоматериала и возникают электрические заряды. Данное устройство предполагается смонтировать на

специальный кронштейн хребтовой балки грузового вагона. Зона крепления подобрана определенным образом и использование специальных расчетов.

Внедрение данного цифрового устройства на грузовой вагон является перспективным направлением развития технической диагностики подвижного состава в эксплуатации. Внедрение данного устройства позволит своевременно получать диагностическую информацию о превышении динамических нагрузках при возникновении дефектов на поверхности катания колесных пар грузовых вагонов. Данное устройство позволит оптимизировать процессы по техническому обслуживанию и ремонту грузовых вагонов.

Список литературы:

1. Бехер, С.А., Коломеец, А.О. Повышение достоверности контроля колес грузовых вагонов в движении с использованием цифровых методов обработки информации // Дефектоскопия. – 2015. № 3. – С. 61-68. EDN: UCQYLV.
2. Александров, А.И., Сурай, А.А., Кварацхелия, Н.Г., Назаров, И.В. Система «Цифровой грузовой вагон»: результаты испытаний прототипа // Вестник Института проблем естественных монополий: техника железных дорог. – 2021. № 4 (56). – С. 58-61. EDN: EQXOER.
3. Томилин, П.Ю., Страшко, Е.И., Жлобо, Р.А. Применение пьезоэлектрического генератора в повседневной жизни // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам шестой международной научно-практической конференции. Краснодар: ПринтТерра, –2024. – С. 316-321. EDN: CIXCFO.