

УДК 629.4.018+629.4.069

Определение дефектов на поверхности катания колес грузового вагона посредством устройства мониторинга, установленного на буксе

Д. Н. Солин^{1,2}, А. А. Шамрай³, Д. В. Даниленко⁴

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²Акционерное общество «Научно-внедренческий центр «Вагоны», Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 22М

³ООО НПП «РаТорм», Российская Федерация, 620078, Екатеринбург, ул. Вишневая, 7

⁴ООО «Управляющая компания РМ Рейл», Российская Федерация, 430006, Республика Мордовия, Саранск, ул. Лодыгина, 11

Для цитирования: Солин Д. Н., Шамрай А. А., Даниленко Д. В. Определение дефектов на поверхности катания колес грузового вагона посредством устройства мониторинга, установленного на буксе // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 1. — С. 45–61. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-45-61

Аннотация

Цель: Получение исходных данных с УМДВ при движении грузового вагона (порожнего, груженого), колесные пары которого были как в состоянии нового изготовления, так и с браковочными дефектами на поверхности катания колеса, и формирование статистических данных по результатам регистрации показаний встроенных датчиков УМДВ, установленных на тележку модели 18-9891. **Методы:** Проведение статистической обработки данных по результатам испытаний устройства на реальном вагоне с целью определения максимальных амплитуд ускорений при движении вагона с разным состоянием колесных пар и частоты ударного воздействия для каждого скоростного режима движения. **Результаты:** В результате исследовательских испытаний установлено, что УМДВ фиксирует ударное воздействие дефектного колеса о рельс. Алгоритм автоматического определения дефектного колеса о рельс можно выстраивать на базе частотной составляющей повышенных амплитуд ускорений при соответствующем режиме загрузки и скорости движения. **Практическая значимость:** Полученные результаты испытаний позволяют разработать алгоритмы определения дефектов на поверхности катания колесных пар на ходу поезда посредством УМДВ, что является одной из важных функций цифрового грузового вагона.

Ключевые слова: Цифровой грузовой вагон, исследовательские испытания, система диагностики, акселерометры, амплитуды ускорений, дефект поверхности катания, колесная пара, буксовый узел.

Введение

Повышение качества технического обслуживания подвижного состава остается приоритетной задачей железнодорожных перевозок, это напрямую влияет на безопасность движения поездов. Одним из решений данной задачи является необходимость применения усовершенствованных систем контроля грузовых вагонов за счет использования цифровых технологий. На железных дорогах уже долгое

время применяются стационарные системы диагностики, устанавливаемые на подходах к пунктам технического обслуживания [1, 2]. Такие системы выполняют важную функцию при техническом обслуживании основных узлов подвижного состава, однако даже при развитии и повышении точности они имеют существенный недостаток — диагностирование только при проходе поезда через участок регистрации. Актуальным решением данной проблемы является разработка бортовых систем непрерывной диагностики, способных повысить надежность перевозочного процесса и обеспечить постоянное отслеживание технического состояния грузового вагона, параметры движения, маневров, пробега и его местоположения. Поэтому перспективным направлением развития грузовых железнодорожных перевозок на сегодняшний день является разработка и внедрение новых высокотехнологичных бортовых цифровых систем диагностики [3, 4].

Цифровизация грузового вагона

С недавнего времени происходит успешная реализация проекта «Цифровой грузовой вагон», позволяющего оптимизировать обслуживание и работу грузового вагонного парка [5–9].

«Цифровой грузовой вагон» представляет собой комплекс автоматизированных беспроводных систем непрерывной диагностики с независимым источником электропитания, которые устанавливаются на элементы грузового вагона. Каждая система состоит из датчиков, позволяющих в режиме реального времени регистрировать данные о техническом состоянии вагона. Особенностью работы данной цифровой системы является получение и систематизация в программно-аппаратном комплексе первичных данных прямо на вагоне. Дальнейшей задачей цифровой системы является передача данных по беспроводным каналам связи в цифровую платформу, которая, в свою очередь, содержит архив всех получаемых данных и характеристик о каждом контролируемом вагоне и позволяет дополнительными аналитическими алгоритмами обеспечивать формирование отчетных (оперативных) данных по движению вагона и предиктивный контроль технического состояния.

Такой контроль технического состояния парка грузовых вагонов позволит получить дополнительные эффекты от внедрения системы «Цифровой грузовой вагон» [5, 6]:

- снижение порожнего пробега и улучшение эксплуатационных показателей работы вагонного парка;
- снижение затрат на организацию перевозочного процесса за счет оптимального распределения вагонного парка;
- сокращение простоев, снижение случаев отцепки груженого вагона во внеплановый ремонт;

- повышение скорости доставки грузов;
- повышение безопасности движения поездов и минимизация человеческого фактора.

Устройство мониторинга и диагностики грузового вагона (УМДВ). Особенности применения и технические характеристики

Концепция создания «Цифрового грузового вагона» реализована на грузовых вагонах компании «РМ-Рейл» (рис. 1). Ключевым элементом системы «Цифровой грузовой вагон» является устройство мониторинга и диагностики грузового вагона (УМДВ), разработанное ООО НПП «Раторм». УМДВ — это электронное устройство, устанавливаемое на корпус буксового узла тележки грузового вагона. Присоединительные размеры УМДВ позволяют устанавливать его как на тележки типа 2 по ГОСТ 9246 модели 18-100 или ее аналогов (корпусная букса с тарельчатой шайбой) вместо смотровой крышки, так и на тележки типа 3 по ГОСТ 9246 с кассетным подшипником и адаптером с применением соответствующего кронштейна крепления. Состоит из синхронного генератора, аккумуляторной батареи, микропроцессорного блока, внутренней памяти, датчиков ускорения, температуры и оборотов, а также радиоканала, передающего регистрируемые данные на сервер телематики (Техпортал) [10, 11].



Рис. 1. Установленное УМДВ на буксовый узел тележки 18-9891
(фото — Д. Н. Солин)

УМДВ разработано с целью автоматического контроля ряда параметров грузового вагона и предназначается для формирования первичных цифровых данных о состоянии единицы подвижного состава, таких как: географическое местоположение грузового вагона, скорость его движения, фактический пробег, температура

буксового узла и скорость ее изменения, ускорения и другие параметры состояния грузового вагона и инфраструктуры в целом. Накопленные устройством данные сохраняются во внутренней памяти и с заданным периодом отправляются по каналам операторов цифровой мобильной сотовой связи на сервер телематики для дальнейшего хранения и последующего дополнительного анализа [10]. Схематично общий алгоритм работы УМДВ представлен на рис. 2.



Рис. 2. Общий алгоритм работы УМДВ (фото — А. А. Шамрай)

Благодаря встроенному генератору, при движении вагона УМДВ обеспечивает электропитанием себя, заряжает встроенный аккумулятор и позволяет организовать питание и интерфейс для подключения дополнительных внешних датчиков. Максимальная скорость движения вагона с УМДВ может достигать 130 км/ч [11].

УМДВ автоматически осуществляет сбор, накопление и передачу информации о состоянии грузового вагона в реальном времени, обеспечивая эффективный контроль и безопасность грузоперевозок (в том числе грузов повышенной опасности) [10].

Параметры УМДВ, передаваемые на сервер сбора данных:

- определение фактической скорости движения вагона;
- контроль температуры буксового узла и скорости ее изменения;
- определение оборотов вращения оси колесной пары и фактического пробега вагона;
- определение начала и окончания движения вагона;
- место и время перехода с путей общего на необщего пользования и обратно;
- величина фактического веса вагона;
- определение внешних динамических воздействий на вагон, контроль схода и волочения деталей вагона;
- контроль сверхнормативного воздействия на вагон, в том числе при роспуске с сортировочных горок и при проведении маневровых работ;

- определение отклонений на поверхности катания колеса по изменению ускорений (ползун, выщербина, неравномерный прокат);
- выявление ослабления торцевого крепления подшипника и сдвига буксы;
- определение толщины обода и толщины гребня;
- определение заклинивания оси колесной пары (юз);
- информация о состоянии аккумуляторной батареи;
- отслеживание местоположения и всех перемещений вагона, в том числе на путях необщего пользования.

Испытания УМДВ на грузовом вагоне

Функционал УМДВ обширный, для понимания уровня амплитуд регистрируемых показателей, изменения их вида, частотного спектра, изменения формы колебаний в зависимости от уровня загрузки, наличия/отсутствия дефектов, состояния железнодорожного пути и других случайных величин необходимо понимать, как датчики работают в реальных условиях эксплуатации подвижного состава, какие нагрузки на вагон действуют в составе поезда, наработать статистическую базу данных исходных сигналов, разработать предварительный алгоритм обработки данных и отработать его в дальнейшем с целью достоверного автоматического выявления дефектов на ходу поезда посредством УМДВ. На первом этапе принято решение исследовать динамические процессы при движении вагона, оборудованного УМДВ, в части возможности за счет этих данных определять браковочные дефекты поверхности катания колесных пар. Для наработки исходных данных было принято решение провести исследовательские испытания [12].

Целью испытаний являлся анализ исходных данных, регистрируемых с помощью УМДВ с дальнейшим формированием статистической базы данных на основе полученных сигналов с заранее известными дефектами поверхности катания. Испытания проводились на экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» в г. Щербинке. При подготовке к испытаниям УМДВ устанавливались на вагоны с тележками с осевой нагрузкой 25 тс модели 18-9891 производства компании «РМ-Рейл», подкаченные под полувагон [13, 14]. В процессе испытаний каждым УМДВ автоматически определялась скорость вагона, географические координаты точки движения опытного сцепа, ускорения по трем взаимоперпендикулярным осям в обоих направлениях и температура буксового узла. Для дальнейшей обработки и сравнения полученных значений ускорений дополнительно на кронштейны крепления УМДВ и кузов вагона были установлены акселерометры, синхронизированные в одну информационную систему измерительно-вычислительного комплекса (рис. 3).



Рис. 3. УМДВ и акселерометры на буксовом узле при испытаниях
(фото — А. А. Шамрай)

После установки УМДВ испытуемый вагон был включен в состав поезда с двумя вагонами прикрытия по обе стороны (рис. 4). Сформированный опытный сцеп курсировал по экспериментальному кольцу со скоростями 20, 40, 60 и 80 км/ч.



Рис. 4. Фото опытного сцепа (фото — А. А. Шамрай)

Испытания состояли из шести экспериментов:

- регистрация ускорений от колес, не имеющих дефектов на поверхности катания;
- регистрация ускорений от колес с выщербиной длиной 40–50 мм и глубиной 8–10 мм;
- регистрация ускорений от колесной пары с односторонним ползуном глубиной от 0,5 до 1 мм;
- регистрация ускорений от колесной пары с двусторонними ползунами глубиной от 1 до 1,5 мм;
- регистрация ускорений от колесной пары с неравномерным прокатом;
- регистрация ускорений от колесной пары с тонким гребнем 24–25 мм.

Некоторые фотографии колесных пар с дефектами представлены на рис. 5.



Рис. 5. Фото дефектов поверхности катания (фото — А. А. Шамрай)

Каждый из экспериментов, в свою очередь проводился, в три этапа:

- испытания в порожнем режиме вагона;
- испытания в груженом режиме при загрузке вагона на 50 %.
- испытания в груженом режиме при загрузке вагона на 100 %.

Схема расстановки УМДВ, их номера, а также места установки акселерометров измерительной системы (Z11, Z21, Z22, Z32) указаны на рис. 6.

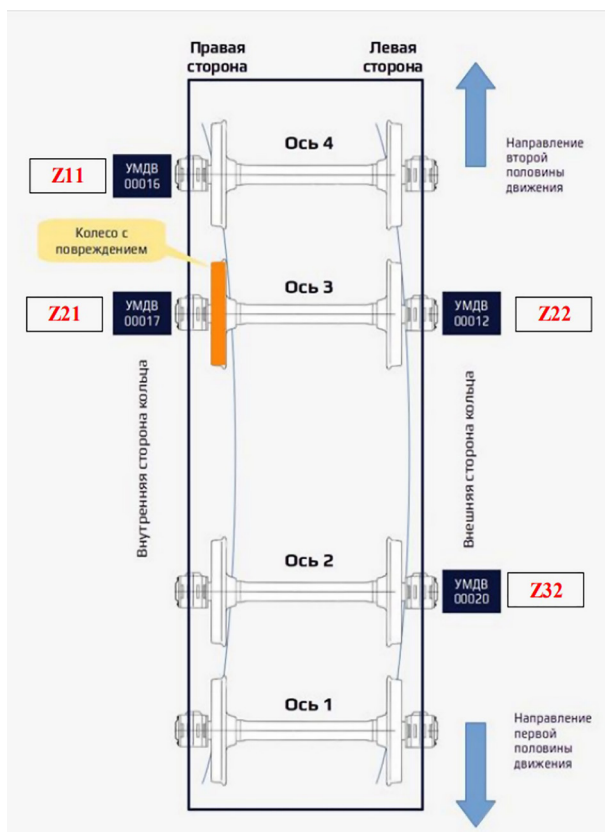


Рис. 6. Схема размещения УМДВ и акселерометров на испытуемом вагоне

Обработка и анализ первичной информации при работе УМДВ

После проведения испытаний накопленные данные во внутренней памяти каждого УМДВ подвергались подробному анализу и обработке для оценки достоверности полученных сигналов. Перед обработкой данных проводилась выгрузка файлов и предварительный просмотр осциллограмм на наличие вылетов, шумов, поврежденных или не записанных файлов (рис. 7).

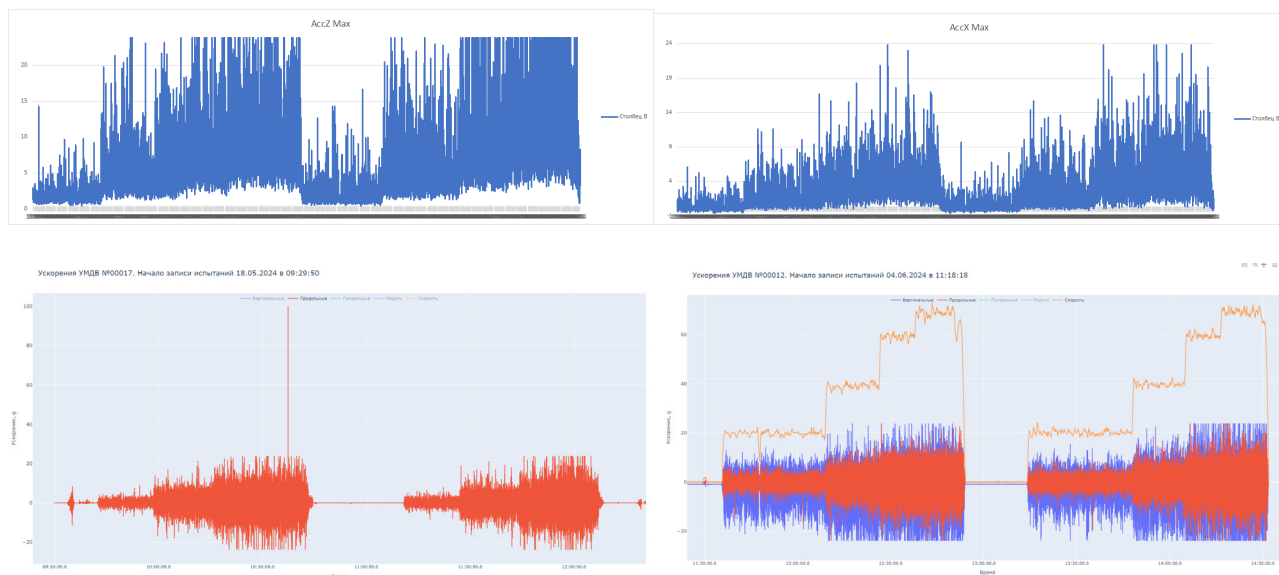


Рис. 7. Предварительный просмотр осциллограмм исходных данных

Целью дальнейшей обработки являлся анализ амплитуд ускорений при движении вагона на всех заданных скоростных режимах и конкретной загрузке вагона с изначально известным состоянием поверхности катания колесных пар.

Обработка полученного пакета исходных данных проводилась при нескольких вариантах фильтрации:

- частотная фильтрация через разложение в ряд Фурье;
- фильтрация по скорости движения;
- фильтрация по времени регистрации.

При рассмотрении результатов измерений, применяя фильтрацию по скорости движения, часть опытных проездов была обработана со скоростями движения от 0 до 10 км/ч и от 11 до 20 км/ч. По результатам обработки были получены графики с характерными для дефектов амплитудами. На рис. 8 и 9 показаны значения с УМДВ № 0012, на рис. 10 и 11 — значения с УМДВ № 0017.

По рис. 8–11 видно, что на малых скоростях движения в результате обработки данных видны повышенные амплитуды ускорений от 5g. В зависимости от скорости движения частота увеличивается, и амплитуда может достигать более 24g.

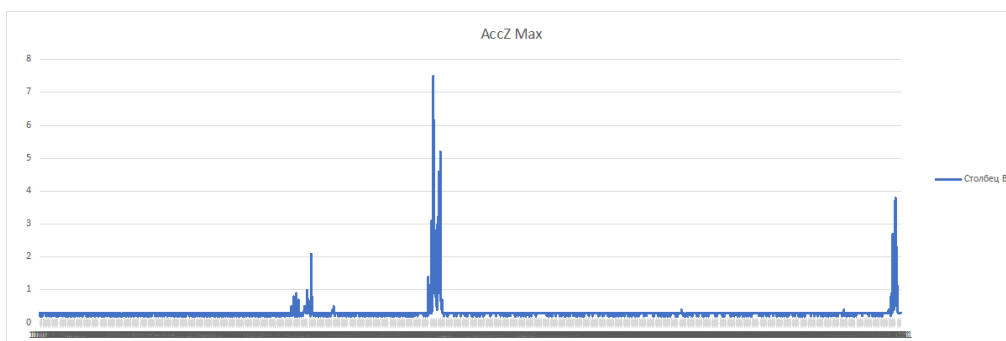


Рис. 8. Порожный вагон, максимальные ускорения, ползун 0,9 мм

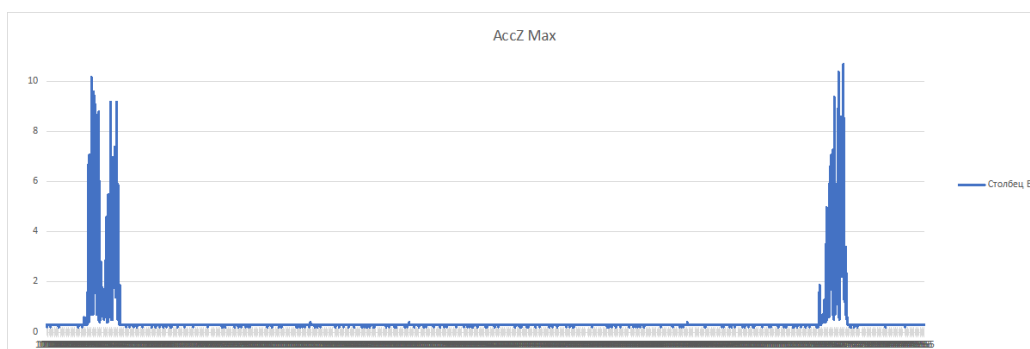


Рис. 9. Грузеный вагон, максимальные ускорения, ползун 0,9 мм

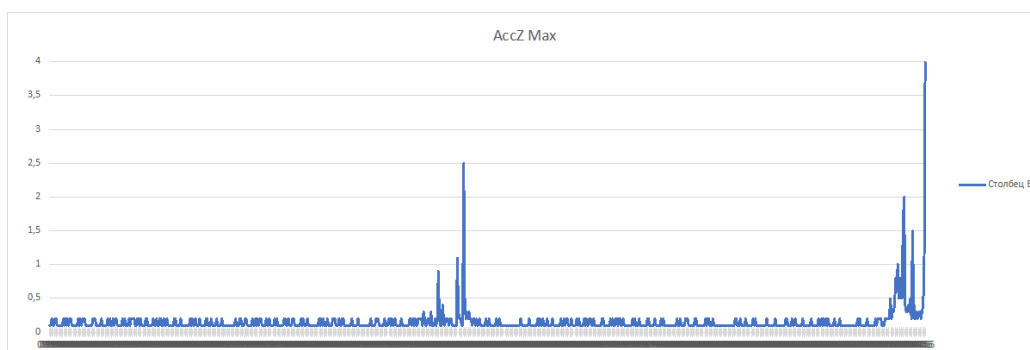


Рис. 10. Порожный вагон, максимальные ускорения, выщербина, длина 81 мм, $1 \times 58 \times 10$

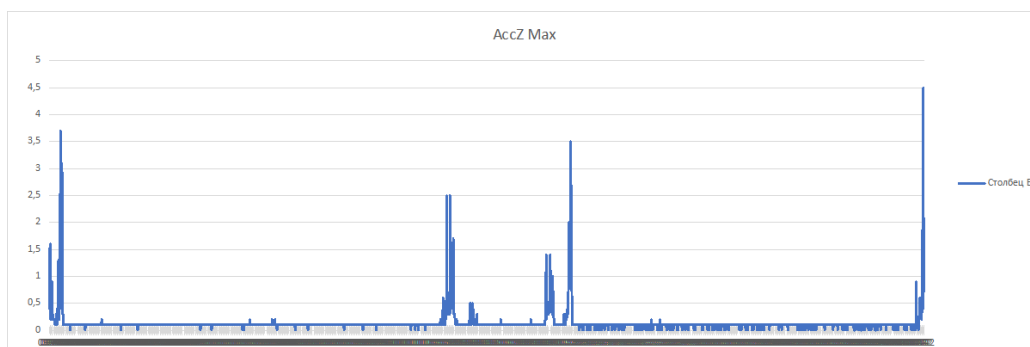


Рис. 11. Грузеный вагон, максимальные ускорения, выщербина, длина 81 мм, $1 \times 58 \times 10$

Далее были рассмотрены исходные процессы динамических сигналов на малом промежутке времени и на разных скоростях. При просмотре определялась частота появления максимальных амплитуд ускорений в результате ударов колесных пар с различными дефектами о рельс при движении на разных скоростях.

На рис. 12–14 показаны амплитуды ускорений от дефекта типа ползун на УМДВ № 0017 при увеличении скорости движения.

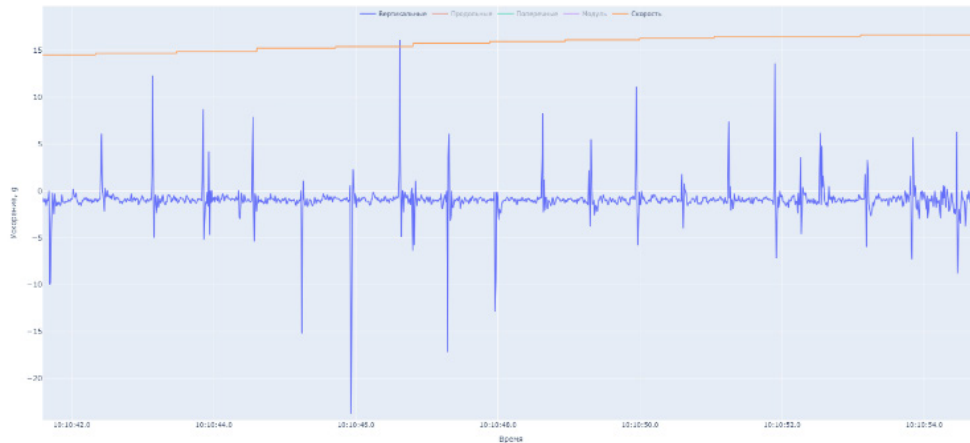


Рис. 12. УМДВ № 0017, груженный вагон, 0,8 мм ползун, скорость 20 км/ч

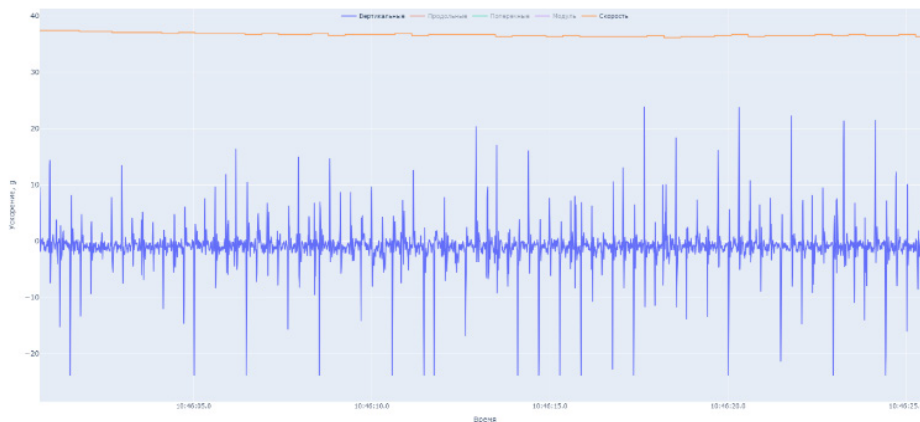


Рис. 13. УМДВ № 0017, груженный вагон, 0,8 мм ползун, скорость 30–40 км/ч



Рис. 14. УМДВ № 0017, груженный вагон, 0,8 мм ползун, скорость 60 км/ч

На рис. 15–17 показаны амплитуды ускорений от дефекта типа ползун на всех УМДВ при разных скоростях движения.

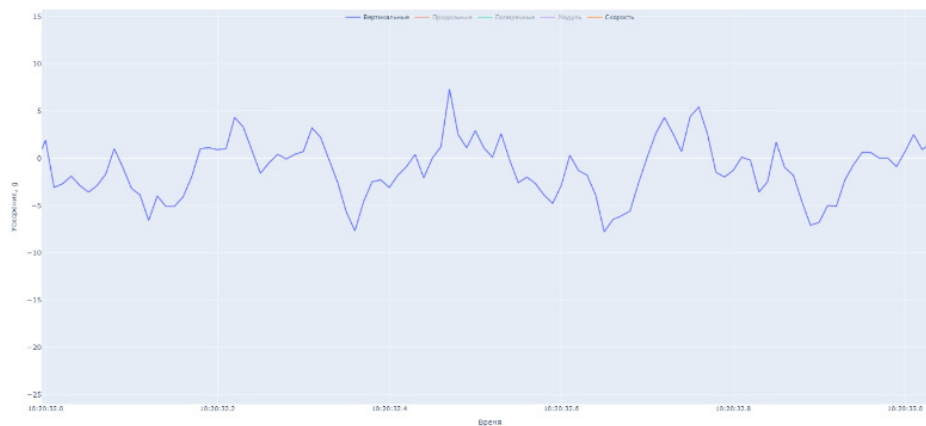


Рис. 15. УМДВ № 0016, грузеный вагон, скорость 60 км/ч, ползун на колесе с УМДВ № 0017



Рис. 16. УМДВ № 0012, грузеный вагон, скорость 60 км/ч, ползун на колесе с УМДВ № 0017

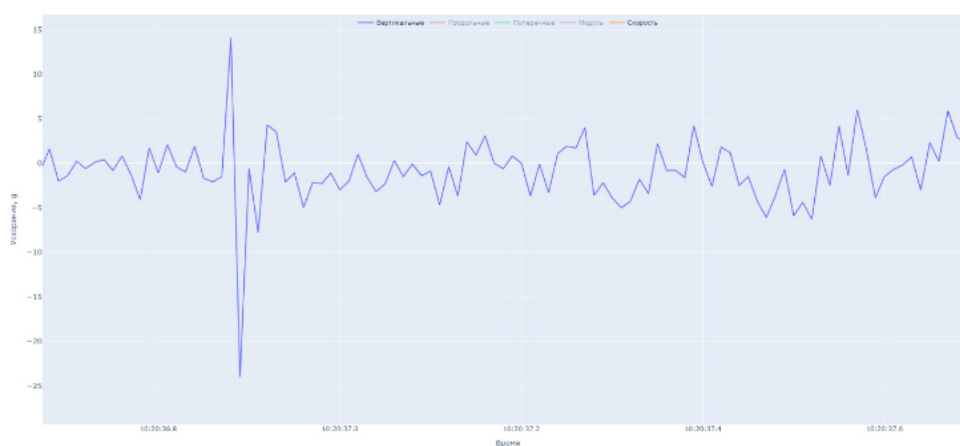


Рис. 17. УМДВ № 0020, грузеный вагон, скорость 60 км/ч, ползун на колесе с УМДВ № 0017

По результатам проведенных испытаний установлено, что УМДВ фиксирует ударное воздействие колеса о рельс за счет определения сверхнормативных отклонений ускорений при больших и малых скоростях движения. Для полной реализации и внедрения УМДВ в проект создания «Цифрового грузового вагона» [5, 6] необходима корректировка устройства, в частности настройки чувствительности при регистрации данных ускорений и разработка программного обеспечения с алгоритмом автоматического определения дефектного колеса при дальнейшем анализе данных. Алгоритм автоматического определения дефектов поверхности катания можно выстраивать на базе частотной составляющей повышенных амплитуд ускорений при соответствующем режиме загрузки и скорости движения. Данная разработка позволит определять виды дефектов поверхности катания и их браковочное значение, что необходимо для условий реальной эксплуатации. В части функциональных возможностей УМДВ корректно выполняет контроль основных показателей (температура буксы, скорость вагона, обороты колеса, данные местоположения и др.), сохраняя данную информацию во внутренней памяти и передавая в полном объеме на сервер телематики (Техпортал) [10].

Заключение

Проведенные исследования позволили разработать алгоритм автоматического распознавания наличия/отсутствия дефектов на поверхности катания по результатам регистрации ускорений в зоне буксового узла. Алгоритм обработки данных базируется на данных частоты повышенного ударного воздействия и позволяет проводить мониторинг состояния колесных пар на малых скоростях движения. В настоящий момент разработанный алгоритм отрабатывается на той же полученной статистической базе экспериментальных данных с целью возможности распознавания браковочных размеров дефектов.

Список источников

1. Попов В. В. Мониторинг технического состояния грузовых вагонов на ходу поезда / В. В. Попов, А. Н. Иванов, А. В. Смутин и др. // Транспорт Российской Федерации. — 2021. — № 1-2(92-93). — С. 52–56.
2. Гришин С. А. Внедрение устройства мониторинга и диагностики грузовых вагонов на ПТО / С. А. Гришин // Инновации в науке и практике: сборник научных статей по материалам XV Международной научно-практической конференции, Уфа, 11 июня 2024 года. — Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр “Вестник науки”», 2024. — С. 88–91.
3. Ададуров А. С. Система мониторинга состояния подвижного состава для формирования оптимизированных и сбалансированных планов ремонта и эксплуатации (часть 1) /

А. С. Ададулов, А. Д. Усмендеева // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. — 2018. — № 3(43). — С. 66–71.

4. Ададулов А. С. Система мониторинга состояния подвижного состава для формирования оптимизированных и сбалансированных планов ремонта и эксплуатации (часть 2) / А. С. Ададулов, А. Д. Усмендеева // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. — 2019. — № 1(45). — С. 90–96.

5. Ширинкин А. В. Цифровой грузовой вагон / А. В. Ширинкин // Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт: сборник материалов научно-практической конференции АО «ВНИИЖТ», Щербинка, 26–27 августа 2021 года. — Щербинка: АО «ВНИИЖТ», 2021. — С. 214–216.

6. Ширинкин А. В. Умный вагон — это реальность / А. В. Ширинкин, А. А. Шамрай // Железнодорожный транспорт. — 2019. — № 10. — С. 77.

7. Неумоин В. А. Цифровой грузовой вагон — методы и способы реализации проекта / В. А. Неумоин // Актуальные проблемы современного транспорта. — 2023. — № 4(14). — С. 31–40.

8. Торопова А. А. Особенности реализации цифрового вагона в современных условиях транспортной индустрии / А. А. Торопова, А. А. Пичугина, С. В. Рачек // Вестник науки. — 2023. — Т. 4. — № 11(68). — С. 674–678. — URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/11145> (дата обращения: 18.11.2024).

9. Стоянова Н. В. Средства диагностики узлов и деталей нетягового подвижного состава / Н. В. Стоянова // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2021»): труды международной научно-практической конференции, Воронеж, 19–21 апреля 2021 года. — Воронеж: Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» в г. Воронеж, 2021. — С. 226–228.

10. Патент № 2745168 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/00. Устройство мониторинга и диагностики грузового вагона: № 2020132485: заявл. 02.10.2020: опубл. 22.03.2021 / В. И. Антипов, П. Б. Колосов, В. В. Ляной и др.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «РаТорм».

11. Патент № 2778174 С1 Российская Федерация, МПК В61D 43/00, В61F 5/50, H02K 7/18. Узел крепления электрического генератора на буксовый узел или раму тележки грузового вагона (варианты): № 2021118584: заявл. 25.06.2021: опубл. 15.08.2022 / А. А. Шамрай, А. В. Ширинкин, С. А. Раловец и др.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «РаТорм», Акционерное общество «Рузаевский завод химического машиностроения».

12. Зимакова М. В. Испытания и диагностика грузовых вагонов: проблемы, решения, задачи / М. В. Зимакова, А. В. Третьяков, Д. Н. Солин и др. // Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы: материалы Третьей Международной научно-технической конференции, Ташкент, 17–20 апреля 2024 года. — Ташкент: Ташкентский государственный транспортный университет, 2024. — С. 199–203.

13. Зимакова М. В. Тележка для грузового подвижного состава с осевой нагрузкой 25 ТС / М. В. Зимакова, А. В. Третьяков, В. С. Коршунов // Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы: материалы Второй Международной научно-технической конференции, Ташкент, 19–22 апреля 2023 года. — Ташкент: Ташкентский государственный транспортный университет, 2023. — С. 176–182.

14. Зимакова М. В. Результаты ходовых испытаний грузового вагона с устройством мониторинга на тележках 18-9891 / М. В. Зимакова, А. А. Шамрай, Т. М. Белгородцева // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : материалы XVI Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 12–15 июля 2022 года. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2022. — С. 37–40.

Дата поступления: 13.01.2025

Решение о публикации: 13.02.2025

Контактная информация:

СОЛИН Дмитрий Николаевич — аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»¹, инженер-испытатель²; dmitri.solin@yandex.ru

ШАМРАЙ Артем Александрович — технический директор; shamray_a@ratorm.ru

ДАНИЛЕНКО Денис Викторович — директор по инновационному развитию; denis.danilenko@rmrail.ru

Defect Detection on the Freight-Car Wheel Surface with a Monitoring Device Mounted on the Axle Box

D. N. Solin^{1,2}, A. A. Shamray³, D. V. Danilenko⁴

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²Joint-Stock Company Scientific and Innovation Center “Wagons”, 22M, Moskovsky Ave., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation,

³NPP RaTorm LLC, 7, Vishneva Str., Ekaterinburg, 620078, Russian Federation

⁴RM Rail Management Company LLC, 11, Lodygina Str., Saransk, 430006, Republic of Mordovia, Russian Federation

For citation: Solin D. N., Shamray A. A., Danilenko D. V. Defect Detection on the Freight-Car Wheel Surface with a Monitoring Device Mounted on the Axle Box. *Bulletin of scientific research results*, 2025, vol. 22, iss. 1, pp. 45–61. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-45-61

Summary

Purpose: To obtain CMDS initial data from the moving freight car (empty or loaded) wheelsets both newly manufactured or with rolling surface defects; to generate statistical data based on the results of registered readings from CMDS inbuilt sensors installed on the 18-9891 model bogie. **Methods:** Statistical data processing obtained from the CMDS device tested on a railway car to determine the maximum acceleration amplitudes of a moving car with different wheelset conditions and impact frequency for each speed mode. **Results:** The research tests have shown that the CMDS captures the impact of a defective wheel against a rail. The algorithm for automatic detection of a defective wheel impact against the rail can be built based on the frequency component of increased acceleration amplitudes with the appropriate loading mode and speed of movement. **Practical significance:** The test results obtained allow developing algorithms for defect detection on the train wheelset rolling surface using CMDS, which is one of the most important functions of a digital freight car.

Keywords: Digital freight car, research tests, diagnostics system, accelerometers, acceleration amplitudes, rolling surface defect, wheelset, axle box.

References

1. Popov V. V., Ivanov A. N., Smutin A. V. et al. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya gruzovykh vagonov na khodu poezda [Monitoring the technical condition of freight cars while the train is moving]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation]. 2021, Iss. 1-2(92-93), pp. 52–56. (In Russian)
2. Grishin S. A. Vnedrenie ustroystva monitoringa i diagnostiki gruzovykh vagonov na PTO [Implementation of a device for monitoring and diagnostics of freight cars at the PTO]. *Innovatsii v nauke i praktike: sbornik nauchnykh statey po materialam XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Ufa, 11 iyunya 2024 goda* [Innovations in Science and Practice: a collection of scientific articles based on the materials of the XV International Scientific and Practical Conference, Ufa, June 11, 2024]. Ufa: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Nauchno-izdatel'skiy tsentr "Vestnik nauki" Publ., 2024, pp. 88–91. (In Russian)
3. Adadurov A. S., Usmendeeva A. D. Sistema monitoringa sostoyaniya podvizhnogo sostava dlya formirovaniya optimizirovannykh i sbalansirovannykh planov remonta i ekspluatatsii (chast' 1) [Rolling stock condition monitoring system for generating optimized and balanced repair and operation plans (part 1)]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopoliy: Tekhnika zheleznykh dorog* [Bulletin of the Institute for Natural Monopoly Problems: Railway Engineering]. 2018, Iss. 3(43), pp. 66–71. (In Russian)
4. Adadurov A. S., Usmendeeva A. D. Sistema monitoringa sostoyaniya podvizhnogo sostava dlya formirovaniya optimizirovannykh i sbalansirovannykh planov remonta i ekspluatatsii (chast' 2) [Rolling stock condition monitoring system for generating optimized and balanced repair and operation plans (part 2)]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopoliy: Tekhnika zheleznykh dorog* [Bulletin of the Institute for Natural Monopoly Problems: Railway Engineering]. 2019, Iss. 1(45), pp. 90–96. (In Russian)

5. Shirinkin A. V. Tsifrovoy gruzovoy vagon [Digital freight car]. *Nauka 1520 VNIIZhT: Zaglyani za gorizont: sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii AO "VNIIZhT", Shcherbinka, 26–27 avgusta 2021 goda* [Science 1520 VNIIZhT: Look beyond the horizon: collection of materials from the scientific and practical conference of JSC VNIIZhT, Shcherbinka, August 26–27, 2021]. Shcherbinka: AO "VNIIZhT" Publ., 2021, pp. 214–216. (In Russian)
6. Shirinkin A. V., Shamray A. A. Umnyy vagon — eto real'nost' [Smart car is a reality]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport]. 2019, Iss. 10, p. 77. (In Russian)
7. Neumoin V. A. Tsifrovoy gruzovoy vagon — metody i sposoby realizatsii proekta [Digital freight car — methods and ways of project implementation]. *Aktual'nye problemy sovremennogo transporta* [Actual problems of modern transport]. 2023, Iss. 4(14), pp. 31–40. (In Russian)
8. Toropova A. A., Pichugina A. A., Rachek S. V. Osobennosti realizatsii tsifrovogo vagona v sovremennykh usloviyakh transportnoy industrii [Features of the implementation of a digital car in the modern conditions of the transport industry]. *Vestnik nauki* [Bulletin of Science]. 2023, vol. 4, Iss. 11(68), pp. 674–678. Available at: <https://www.vestnik-nauki.rf/article/11145> (accessed: November 18, 2024). (In Russian)
9. Stoyanova N. V. Sredstva diagnostiki uzlov i detaley netyagovogo podvizhnogo sostava [Diagnostic tools for units and parts of non-traction rolling stock]. *Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo ("Transport-2021"): trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Voronezh, 19–21 aprelya 2021 goda* [Transport: science, education, production ("Transport-2021"): proceedings of the international scientific and practical conference, Voronezh, April 19–21, 2021]. Voronezh: Filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya" v g. Voronezh Publ., 2021, pp. 226–228. (In Russian)
10. Antipov V. I., Kolosov P. B., Lyanoy V. V. et al. *Ustroystvo monitoringa i diagnostiki gruzovogo vagona* [Device for monitoring and diagnosing a freight car]. Patent RF, no. 2745168, 2021. (In Russian)
11. Shamray A. A., Shirinkin A. V., Ralovets S. A. et al. *Uzel krepleniya elektricheskogo generatora na buksovyy uzel ili ramu telezhki gruzovogo vagona (varianty)* [Mounting unit for an electric generator on the axle box assembly or bogie frame of a freight car (variants)]. Patent RF, no. 2778174, 2022. (In Russian)
12. Zimakova M. V., Tret'yakov A. V., Solin D. N. et al. Ispytaniya i diagnostika gruzovykh vagonov: problemy, resheniya, zadachi [Testing and diagnostics of freight cars: problems, solutions, tasks]. *Zheleznodorozhnyy podvizhnyy sostav: problemy, resheniya, perspektivy: materialy Tret'ey Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Tashkent, 17–20 aprelya 2024 goda* [Railway rolling stock: problems, solutions, prospects: materials of the Third International scientific and technical conference, Tashkent, April 17–20, 2024]. Tashkent: Tashkentskiy gosudarstvennyy transportnyy universitet Publ., 2024, pp. 199–203. (In Russian)
13. Zimakova M. V., Tret'yakov A. V., Korshunov V. S. Telezhka dlya gruzovogo podvizhnogo sostava s osevoy nagruzkoj 25 TS [Bogie for freight rolling stock with an axle load of 25 TS]. *Zheleznodorozhnyy podvizhnyy sostav: problemy, resheniya, perspektivy: materialy Vtoroy*

Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Tashkent, 19–22 aprelya 2023 goda [Railway rolling stock: problems, solutions, prospects: materials of the Second International scientific and technical conference, Tashkent, April 19–22, 2023]. Tashkent: Tashkentskiy gosudarstvennyy transportnyy universitet Publ., 2023, pp. 176–182. (In Russian)

14. Zimakova M. V., Shamray A. A., Belgorodtseva T. M. Rezul'taty khodovykh ispytaniy gruzovogo vagona s ustroystvom monitoringa na telezhkakh 18-9891 [Results of running tests of a freight car with a monitoring device on bogies 18-9891]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty: materialy KhVI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 12–15 iyulya 2022 goda* [Rolling stock of the 21st century: ideas, requirements, projects: materials of the XVI International scientific and technical conference, St. Petersburg, July 12–15, 2022]. Saint Petersburg: Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Imperatora Aleksandra I Publ., 2022, pp. 37–40. (In Russian)

Received: January 13, 2025

Accepted: February 13, 2025

Author's information:

Dmitry N. SOLIN — Postgraduate Student of the Department “Wagons and Carriage Industry”¹; Test Engineer²; dmitri.solin@yandex.ru

Artyom A. SHAMRAY — Technical Director; shamray_a@ratorm.ru

Denis V. DANILENKO — Director of Innovation Development; denis.danilenko@rmrail.ru