

# Разработка бортового устройства мониторинга технического состояния поглощающего аппарата грузового вагона

Ю. И. МАТЯШ, И. А. ГАДЖИЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения» (ОмГУПС), Омск, 644046, Россия

**Аннотация.** Повышение безопасности движения является обязательным условием для обеспечения эффективного функционирования железнодорожного транспорта. С целью получения целостного представления об объемах внеплановых ремонтов грузовых вагонов в статье проведен анализ статистики отцепок вагонов приписки России в текущий отцепочный ремонт за период с 2008 по 2018 г. Рассмотрены факторы, косвенно влияющие на репрезентативность данных, описываемых этой статистикой. Сформулированы предпосылки к дальнейшему увеличению числа неисправностей, в связи с чем обоснована актуальность проблемы мониторинга технического состояния грузовых вагонов бортовыми системами. Сформулированы основные атрибуты пилотной версии бортовой системы мониторинга узлов вагона. Дано обоснование необходимости непрерывного контроля исправного состояния поглощающего аппарата, основанное на анализе статистической информации, а также текстов научных публикаций и диссертационных работ в данном направлении. Установлена взаимосвязь неисправностей поглощающего аппарата с отказами других узлов грузового вагона. Разработан и изготовлен макет бортового устройства для мониторинга технического состояния поглощающего аппарата грузового вагона и описаны функциональные возможности этого устройства. Обозначены критерии определения неисправного состояния и снижения эффективности работы поглощающего аппарата.

**Ключевые слова:** безопасность движения; вагон; перевозка грузов; система мониторинга; поглощающий аппарат; взаимосвязь неисправностей; критерии неисправности

**Введение.** В настоящее время парк грузовых вагонов в основном представлен вагонами типовой конструкции, большая часть из них базируется на тележке модели 18-100 (по разным оценкам, от 85 до 90 % всех грузовых вагонов в России [1]), которая разрабатывалась еще в 40-е гг. XX в. Вплоть до 2004 г. это была единственная серийно выпускаемая тележка, эксплуатируемая в составе четырех- и восьмиосных грузовых вагонов [2]. В 1976 г. проектная нагрузка на ось, равная 21 т, была увеличена до 22 т, в 1977 г. — до 23 т, а позднее и до 23,5 т [2]. Таким образом, повышенные эксплуатационные нагрузки на тележку при сохранении принципиально той же ее конструкции, что и в середине XX в., приводят к сокращению межремонтного пробега вагона и увеличению вероятности внезапных отказов.

С целью обеспечения надлежащего технического состояния грузовые вагоны проходят текущий отцепочный ремонт (ТОР) на специально оборудованных путях, где устраняются выявленные неисправности. На рис. 1 представлена статистика по отцепкам грузовых вагонов в ТОР за последние 11 лет [3].

Исходя из приведенных данных, можно отметить рост количества отцепок вагонов на 102,7 % за период с 2008 по 2015 г. с последующим сохранением этого уровня до настоящего времени. На сегодняшний день российский грузовой вагонный парк является одним из самых молодых в мире — средний возраст вагонов 12,5 года (8,3 года по парку полувагонов), в то время как в 2008 г. эта цифра составляла 17 лет [5, 6]. В середине 2014 г. был принят ряд решений, целью которых было, во-первых, искусственно сократить парк вагонов, уменьшив срок их службы за счет невозможности его продления без дополнительного проведения обязательной модернизации вагона в соответствии с техническим регламентом Таможенного Союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава», а во-вторых, стимулировать закупку новых вагонов, что позволило бы увеличить загрузку вагоностроительных заводов [7]. В результате с января 2015 г. по

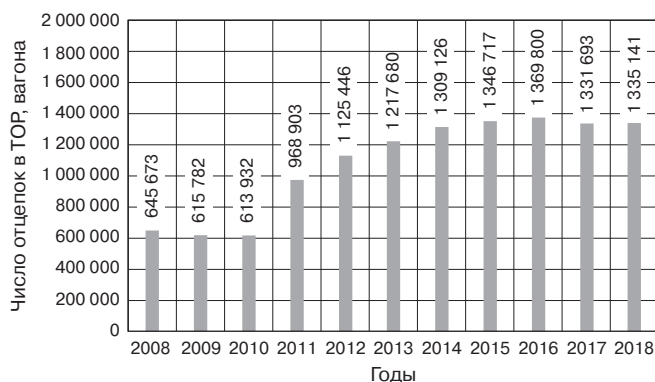


Рис. 1. Динамика поступления грузовых вагонов приписки России в ТОР за период с 2008 по 2018 г. (данные за 2018 г. спрогнозированы на основе информации за 11 месяцев 2018 г.) [3, 4]

Fig. 1. Dynamics of freight cars of Russia ascription delivery to CUR from 2008 to 2018 (data for 2018 are forecasted based on information for 11 months of 2018) [3, 4]

■ E-mail: [ibragimgadziev@gmail.com](mailto:ibragimgadziev@gmail.com) (И. А. Гаджиев)

декабрь 2017 г. общий наличный парк грузовых вагонов в России уменьшился с 1231,6 тыс. единиц до 1114,3 тыс. единиц, то есть примерно на 10% [8]. Таким образом, статистика на рис. 1 не учитывает те потенциальные отцепки, которые могли возникнуть, если бы исключенные из парка по уменьшенному сроку службы вагоны продолжили эксплуатироваться, а их накопившиеся к моменту изъятия неисправности были бы выявлены. С учетом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что на данный момент не появилось предпосылок к снижению числа отцепок грузовых вагонов в ТОР по неисправностям узлов.

В соответствии со Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года планируется организовать производство грузового подвижного состава нового поколения с нагрузкой на ось 25–30 т и скоростью движения до 140 км/ч, а также поставлена задача увеличить объем грузоперевозок к 2030 г. на 500–800 млн т брутто [9]. В перспективе при эксплуатации поездов повышенной массы и длины можно прогнозировать увеличение кинетической энергии движущегося состава, а значит, и появление еще большего числа неисправностей узлов грузовых вагонов [10].

В складывающейся ситуации существующий точечный контроль напольными и постовыми средствами диагностирования становится недостаточным, так как эксплуатируемые на российской сети железных дорог системы и комплексы не способны непрерывно сообщать актуальную информацию о техническом состоянии грузовых вагонов на протяжении всего маршрута следования поезда. Средства мониторинга, размещаемые непосредственно на грузовом вагоне, только недавно начали появляться на зарубежном рынке и имеют сравнительно малый функционал. Например, австрийская система WaggonTracker способна осуществлять измерение температуры буксового узла, контроль перегруза, геопозиционирование и т.д. [11]. В России подобные средства находятся на этапе испытаний и сертификации. Одним из таких аналогов является система комплексного мониторинга подвижного состава, разрабатываемая АО «НИИАС» [12, 13]. Дополнительно к этому при столь высоком числе имеющихся и прогнозируемых неисправностей, а также при эксплуатации поездов повышенной массы и длины еще больше будет сказываться негативное влияние человеческого фактора при осмотре вагонов на пунктах технического обслуживания.

Исходя из сказанного, разработка бортовой системы мониторинга как неотъемлемой части грузового вагона становится одним из наиболее актуальных путей повышения безопасности движения поездов. Развитие грузового подвижного состава в данном направлении согласуется с концепцией проекта «Цифровая железная дорога», а также с одним из приоритетных

направлений развития отрасли транспортного машиностроения в соответствии со Стратегией развития транспортного машиностроения Российской Федерации на период до 2030 года, суть которого заключается во внедрении интеллектуальных систем при эксплуатации грузового подвижного состава («умный вагон») [14].

Описание концепции бортовой информационной системы мониторинга технического состояния узлов грузового вагона изложено в [10], конструкция и принципы работы автономного устройства электропитания системы — в работах [15, 16]. В основу данной системы мониторинга заложен блочно-модульный принцип, позволяющий в дальнейшем расширять спектр выявляемых ею неисправностей.

**Выбор узла для мониторинга.** Для разработки и изготовления пилотной версии предложенной системы (ввиду нецелесообразности одновременного охвата всех узлов грузового вагона без анализа учета их вклада в его безотказную работу) возникла необходимость выбора именно такого узла, который бы соответствовал следующим критериям:

- нарушение работоспособности выбранного узла представляет наибольшую угрозу для обеспечения безопасности движения;
- при оснащении выбранного узла системой мониторинга обеспечивается минимальная степень вмешательства в конструкцию существующих и эксплуатируемых грузовых вагонов;
- при серийном изготовлении системы мониторинга выбранного узла обеспечивается ее сравнительно низкая стоимость;
- контроль выбранного узла должен быть экономически выгоднее, чем устранение последствий его неисправного состояния.

В результате анализа статистики по отцепкам грузовых вагонов, случаев нарушения безопасности движения, а также публикаций по результатам исследований в данном направлении был сделан вывод, что наиболее полно этим критериям соответствует поглощающий аппарат автосцепного устройства, в том числе и по следующим причинам:

1) на сегодняшний день в эксплуатации на грузовом подвижном составе применяют различные виды поглощающих аппаратов, прямой контроль исправности которых остается невозможным, во-первых, из-за неудобства положения осмотрщика и, во-вторых, из-за невозможности осмотра деталей, скрытых в корпусе поглощающего аппарата. Поэтому о многих неисправностях осмотрщик судит по косвенным признакам, используя известные методы выявления неисправностей и личные навыки, что вызывает затруднения в получении достоверных сведений [17];

2) в работе [17] с целью исследования влияния неисправного поглощающего аппарата на возникновение

неисправностей в других узлах грузового вагона проведено натурное обследование более тысячи вагонов, поступивших в текущий ремонт. Установлено, что при обнаруженной неисправности поглощающего аппарата информативность взаимосвязанных неисправностей корпуса автосцепки, рамы и кузова вагона от максимально возможной составляет 58,4; 51,2 и 40,0 % соответственно. Исходя из этого, выявлены условные вероятности отказа вагона по этим неисправностям, предпосылкой для которых явилась неисправность поглощающего аппарата [17];

3) неисправный поглощающий аппарат приводит к увеличению скорости износа деталей автосцепного устройства и повышению темпов роста микротрещин в корпусе автосцепки, что значительно увеличивает вероятность ее обрыва. За 9 месяцев 2018 г. произошло увеличение отцепов по причине неисправности автосцепки на 22,53 % по сравнению с тем же периодом 2017 г., при этом общее количество обрывов автосцепок увеличилось с 30 случаев в 2017 г. до 40 — в 2018 г., то есть возросло на 25 % [3];

4) интенсификация грузоперевозочного процесса привела к увеличению массы вагонов и поездов и, как следствие, к повышенным ударным нагрузкам на грузовой вагон при переходных режимах движения поезда и маневровых горочных операциях [18];

5) несмотря на внедрение вагонных замедлителей в инфраструктуру железнодорожных станций, регулярно происходят случаи превышения допустимых скоростей соударения грузовых вагонов при роспуске с горки, вызванные морально устаревшими и нестабильными механизмами замедлителей, что в свою очередь допускает влияние на протекающие процессы человеческого фактора. Удары на горках являются не только причиной повреждения узлов вагона, но и могут приводить к самопроизвольному открытию люков у загруженных полувагонов, дверей крытых вагонов и бортов платформ. Известны также случаи, когда вследствие удара происходила разгрузка одной из тележек порожнего вагона, которая в свою очередь приводила к выпадению пружин рессорного комплекта. Практика показывает, что на устранение повреждений, вызванных продольными нагрузками, за срок службы вагона затрачиваются средства, равные его первоначальной стоимости [17, 19, 20, 21];

6) при выходе из строя поглощающего аппарата повышенные продольные динамические силы воздействуют на перевозимые грузы (в том числе относящиеся к опасным) и их крепление, дорогостоящее оборудование рефрижераторных вагонов, а также на подвесное оборудование, например, тормозную магистраль, подверженную действию инерционных нагрузок, которые могут вызвать нарушение ее плотности и обрыв крепежных деталей [17, 19];

7) повышенные продольные силы в составе являются одной из причин срабатывания воздухораспределителя (ВР) на самоторможение из-за действия инерционных сил на поршень и плунжер магистральной части ВР, что может привести к разрыву поезда [22];

8) с увеличением длины поездов до 1000 м и более был увеличен диаметр питающего отверстия кранов машиниста № 394 до 13 мм, вследствие чего их высокая питательная способность при обрыве поезда нарушает свойство автоматичности тормозов, причем в случае, когда перед этим была выполнена минимальная первая ступень разрядки тормозной магистрали, сигнализатор обрыва не срабатывает и не информирует машиниста об аварийной ситуации, что снижает уровень безопасности движения [23];

9) увеличение разности высот автосцепок вследствие неисправности упряжного устройства приводит к повышению вероятности вкатывания колеса на головку рельса из-за снижения вертикальной составляющей силы, действующей на колесо при прохождении кривых участков пути, вызванного подпираем провисшей автосцепкой исправной автосцепки соседнего вагона [24];

10) повышенные продольные силы в составе при переходных режимах движения поезда вызывают установку вагонов под углом друг к другу в плане, что увеличивает рамные силы и приводит к еще более неблагоприятному соотношению боковых и вертикальных сил, действующих на колесо, а также вызывает повышенный износ гребней колесных пар — основную причину отцепов вагонов в ТОР [24];

11) в 2017–2018 гг. была увеличена протяженность гарантийных участков безопасного проследования на 656 км (до 2300 км для груженых вагонов и до 3300 км для порожних), что повышает требования к надежности сцепления в составе, так как разрыв поезда приводит к убыткам, связанным с нарушением графика движения поездов, удалением состава с путей [25]. По сети ОАО «РЖД» в 2018 г. рост саморасцепов по сравнению с 2017 г. составил 28 % [26];

12) ряд моделей поглощающих аппаратов может изменять свои технические характеристики во время следования поезда из-за воздействия низких температур окружающей среды (например, эластомерные и содержащие упругие полимерные элементы), следовательно, возможность непрерывного контроля эффективности работы поглощающего аппарата позволит получить новые статистические данные, которые дадут более полную картину процессов, протекающих как на отдельно взятом поглощающем аппарате, так и в составе в целом, в том числе при переходных режимах движения [27].

На рис. 2 схематично обобщены факторы, описанные в пп. 3–7 и 9–11 данного раздела, определяющие актуальность мониторинга технического состояния

поглощающего аппарата поезда из-за влияния его неисправного состояния на отказы других узлов и безопасность движения в целом.

Анализ статистических данных показывает, что общее количество отцепок вагонов по причине неисправности поглощающего аппарата сравнительно мало. При этом нет показателя, который бы учитывал вклад невыявленной неисправности поглощающего аппарата (до момента ее обнаружения и выявления окончательного отказа узла) в нарушение исправной работы других узлов вагона. На сегодняшний день не существует технических средств для непрерывного контроля снижения эффективности работы установленного на вагоне поглощающего аппарата на ходу поезда.

**Техническое решение.** Согласно ГОСТ 32913–2014 в зависимости от того, на каком объекте будет эксплуатироваться поглощающий аппарат, оговорены следующие классы:

- аппараты класса Т0 (например, пружинно-фрикционные Ш-2-В, Ш-6-ТО-4, ПМК-110А) применяются в исключительных случаях, например на вагонах, следующих в ремонт;

- аппараты класса Т1 (например, с упругими полимерными элементами, такие как РТ-120, ПМКП-110) применяются на вагонах, перевозящих обычные грузы;

- аппараты класса Т2 (например, эластомерные 73ZWy, АПЭ-90-А) устанавливаются на специализированных вагонах для перевозки ценных и опасных грузов классов 3, 4, 5, 8 и 9 по ГОСТ 19433–88 (например, нефть и нефтепродукты, химические вещества и т.п.), а также на вагонах с расчетной массой брутто свыше 120 тонн;

- аппараты класса Т3 (например, эластомерные 73ZWy2, АПЭ-120-И) устанавливаются на специализированных вагонах для перевозки грузов высокой степени опасности классов 1, 2, 6 и 7 (например, сжиженный газ, ядовитые вещества и т.п.).

С целью обеспечения мониторинга технического состояния поглощающего аппарата (любого класса и конструкции) авторами разработано устройство, принцип работы которого основан на определении уровней механического воздействия продольных сил в поезде через поглощающий аппарат на раму грузового вагона. На рис. 3 представлен общий вид макета устройства мониторинга технического состояния поглощающего аппарата грузового вагона, состоящего из кабеля подключения датчика (1), тумблера включения (2), микроконтроллерной платы (3), аналого-цифрового преобразователя (4), модуля беспроводной передачи данных (5).

На рис. 4 показано схематичное изображение рамы грузового вагона с указанием места крепления датчика бортового устройства для мониторинга технического состояния поглощающего аппарата. Силоизмерительный датчик (4), представляющий собой один или несколько соединенных между собой тензорезисторов,

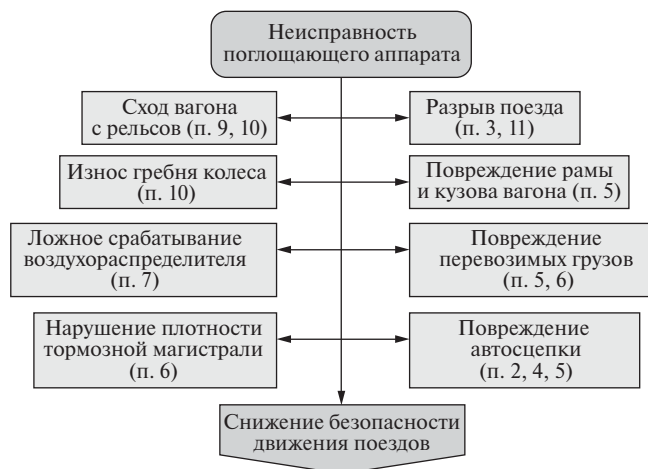


Рис. 2. Причинно-следственная диаграмма влияния неисправного состояния поглощающего аппарата грузового вагона на снижение безопасности движения

Fig. 2. Cause-and-effect diagram of the impact of a failed shock-absorbing device of a freight car on traffic safety

прикрепляется на задний упор (5), расположенный внутри хребтовой балки (2) рамы вагона. Продольная сила  $F_{нач}$ , передаваемая от хвостовика автосцепки (1), воздействует на подвижную часть поглощающего аппарата (3), который, переходя в сжатое состояние, часть этой силы передает на задний упор (5), что вызывает его микродеформацию совместно с тензорезисторами (датчик 4), вследствие этого изменяется их электрическое сопротивление, что регистрируется в бортовом устройстве мониторинга технического состояния поглощающего аппарата (6).

С целью повышения точности измерений способ и место установки тензорезисторов на вагоне, их количество и схема включения будут уточняться при проведении натурных испытаний разработанного макета устройства. Для упрощения процесса тарировки силоизмерительного датчика рассматриваются способ крепления датчика на промежуточную пластину, а также его калибровка и жесткое закрепление на хребтовой балке.

**Обработка регистрируемых данных.** В результате проводимого мониторинга выявляют максимальные значения продольной силы  $F$ , передаваемые через поглощающий аппарат на хребтовую балку грузового вагона. Возможные характеристики нагружения хребтовой балки в зависимости от степени снижения эффективности работы поглощающего аппарата представлены на рис. 5.

Оценка работоспособности и степени снижения эффективности работы поглощающего аппарата производится по критерию

$$F < \bar{F}k,$$

где  $\bar{F}$  — средняя продольная сила по группе вагонов;  $k$  — поправочный коэффициент.

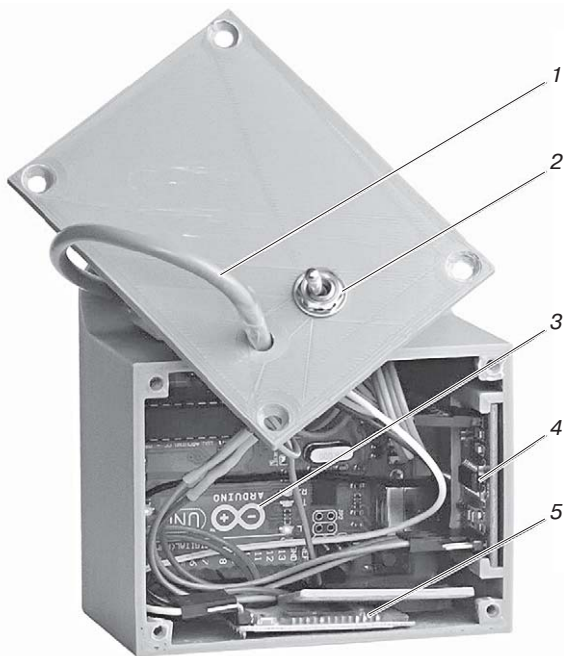


Рис. 3. Макет устройства мониторинга технического состояния поглощающего аппарата:

- 1 — кабель подключения датчика; 2 — тумблер включения;  
 3 — микроконтроллерная плата; 4 — аналого-цифровой преобразователь; 5 — модуль беспроводной передачи данных
- Fig. 3. Mockup of the monitoring device for technical condition of the shock-absorbing device:  
 1 — sensor connection cable; 2 — toggle switch; 3 — microcontroller board; 4 — analog-to-digital converter; 5 — wireless data communication module

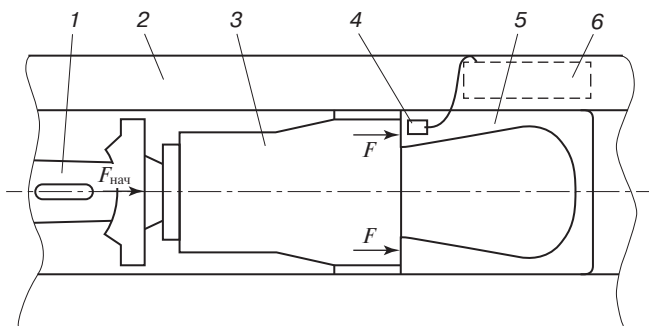


Рис. 4. Схематичное изображение рамы грузового вагона с указанием места расположения силоизмерительного датчика бортового устройства для мониторинга технического состояния поглощающего аппарата на вагоне:

- 1 — хвостовик автосцепки; 2 — хребтовая балка рамы вагона;  
 3 — поглощающий аппарат; 4 — силоизмерительный датчик;  
 5 — задний упор; 6 — бортовое устройство;  $F_{нач}$  — продольная сила, воздействующая на поглощающий аппарат от автосцепки;  
 $F$  — продольная сила, воздействующая на задний упор от поглощающего аппарата

Fig. 4. Schematic picture of the freight car's frame indicating point of installation of the force-measuring sensor of the onboard device for monitoring the technical condition of the shock-absorbing device on the car:  
 1 — coupler bar; 2 — tie rod of car frame; 3 — shock-absorbing device; 4 — force-measuring sensor; 5 — rear draft lug; 6 — onboard device;  
 $F_{нач}$  — longitudinal force from two-car string affecting shock-absorption device;  $F$  — longitudinal force from the shock-absorbing device affecting the rear draft lug

Для исключения влияния на итоговый результат мониторинга места расположения контролируемого места в составе поезда (ближе к локомотиву или к хвостовой части), а следовательно, и вызываемых этим фактором различных продольных сил по длине состава, например в процессе набегания хвостовых вагонов при торможении поезда, сравнение получаемых значений  $F$  происходит не с фиксированными браковочными величинами продольных сил, а с усредненными по ближайшим нескольким вагонам, так как все датчики соединены в единую одноранговую беспроводную сеть поезда, то есть имеется возможность одновременного сбора данных со всех вагонов. Дополнительно для повышения достоверности результатов мониторинга (с целью исключения ложных срабатываний сигналов Тревога 1 или Тревога 2) вводится поправочный коэффициент  $k$ . На данный момент для сигнала Тревога 2 он принимается равным коэффициенту запаса прочности для деталей хребтовой балки вагона в соответствии с ГОСТ 33211–2014, то есть  $k=1,18$ . Для компенсации погрешностей при расчете средней продольной силы и погрешностей при измерении продольной силы  $F$  на каждом из вагонов допускается отклонение на 5%, то есть для сигнала Тревога 1 получаем  $k=1,05$ . Коэффициенты для различных сигналов тревоги будут уточняться по результатам натурных испытаний. В ситуации, когда вагон находится вне состава, например при роспуске с горки, измеряемая продольная сила  $F$  сравнивается с максимально допустимой, соответствующей скорости соударения 1,38 м/с в соответствии с ГОСТ 22235–2010.

Для расчета усредненного значения продольных сил на любом из вагонов предлагается использовать метод полиномиальной аппроксимации. Преимуществом данного метода, в отличие от расчета среднего арифметического значения, является возможность определить количество ближайших вагонов, принимаемых в расчет, опираясь на коэффициент детерминации  $R^2$ , что позволит получать более точные значения.

В качестве примера рассмотрим результаты моделирования процесса торможения, полученные в программном комплексе «Универсальный механизм». Для этого в нем был смоделирован поезд, состоящий из 78 полувагонов с нагрузкой на ось 25 т и локомотива (две секции), который совершает служебное торможение на скорости 30 км/ч. На рис. 6 представлены полученные значения продольных сил в межвагонных связях для момента времени  $t=9,8$  с с момента начала торможения, обработанные в табличном процессоре Microsoft Excel.

Таким образом, метод аппроксимации позволяет построить основанную на текущих измеряемых данных математическую модель, которая одним или

несколькими уравнениями описывает усредненные продольные силы в поезде для каждой межвагонной связи (сцепы). Подставляя в уравнение порядковый номер диагностируемой межвагонной связи, можно с определенной точностью рассчитать силу, которая будет в ней при исправных поглощающих аппаратах.

Показателем точности математической модели является коэффициент детерминации  $R^2$ , который варьирует от 0 до 1, где его более высокое значение соответствует более сильной зависимости рассчитываемой средней силы от номера межвагонной связи  $x$ . Задав минимальное значение этого коэффициента, можно определить количество вагонов, которые будут взяты в расчет средней силы для конкретного сцепа. В рассмотренном примере  $R^2$  получился равным 0,949, при этом весь поезд был описан одним уравнением. Если разделить поезд на части, то для уравнений, описывающих каждую из этих частей, коэффициент  $R^2$  будет выше.

В результате оценки по предложенному критерию вырабатываются сигналы тревоги в зависимости от уровня превышения допустимых значений продольных сил над усредненными в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 7.

Благодаря возможности накопления статистических данных о силовых воздействиях, передаваемых на вагон через поглощающий аппарат, становится реальным не только определение его неисправного состояния и степени снижения эффективности работы на ходу поезда, но и прогнозирование его отказа, за исключением аппаратов класса Т0, в которых это невозможно из-за наличия в конструкции пружины: ее

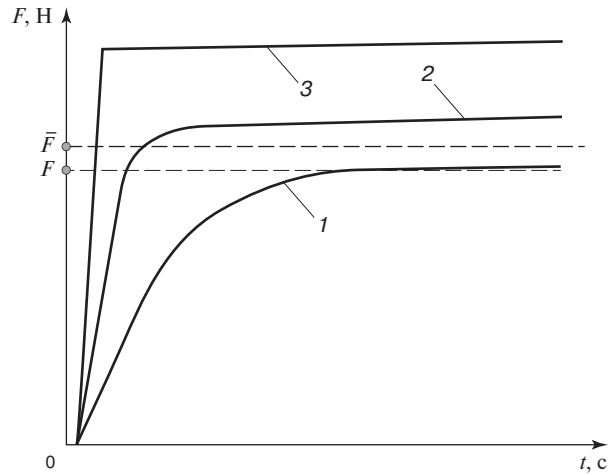


Рис. 5. Зависимость продольной силы, измеряемой на заднем упоре ( $F$ ), от времени ( $t$ ):

$\bar{F}$  — средняя продольная сила по группе вагонов; 1 — Норма; 2 — Тревога 1, 3 — Тревога 2 — условные сигналы, выдаваемые системой в зависимости от максимального уровня измеряемых продольных сил  $F$

Fig. 5. Conditional schematic demonstration of the property  $F(t)$  taken from the car frame:

$F$  — longitudinal forces measured at the rear draft lug;  $t$  — real time;  $\bar{F}$  — average longitudinal force for the group of cars; 1 — Norm; 2 — Alarm 1, 3 — Alarm 2 — conventional signals produced by the system depending on the maximum level of measured longitudinal forces  $F$

отказ носит внезапный характер и снижает достоверность прогнозирования. Однако стоит отметить, что на сегодняшний день аппараты данного класса заменяются на Т1, так как в соответствии с ГОСТ 32913–2014 применение аппаратов класса Т0 допускается только в исключительных случаях.

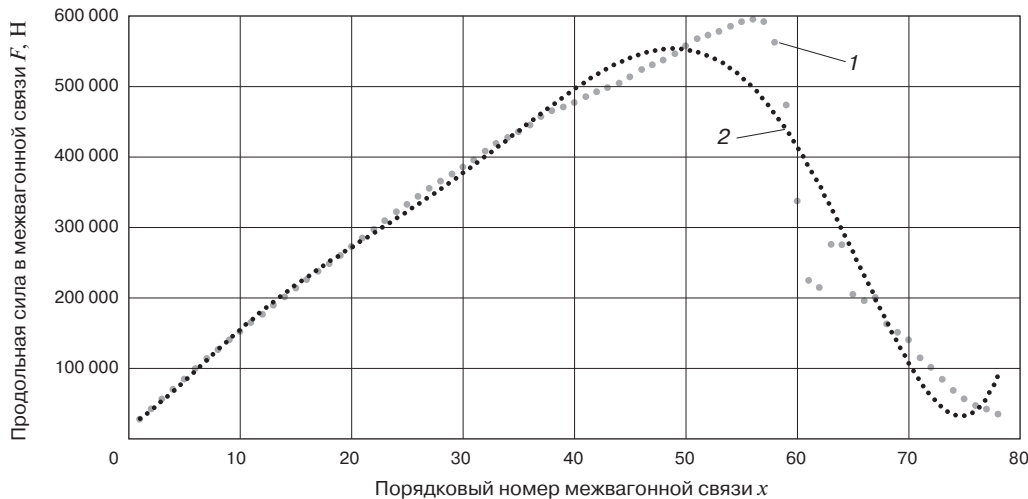


Рис. 6. График распределения продольных сил в поезде спустя 9,8 с после начала служебного торможения на скорости 30 км/ч:

1 — значения, полученные в ходе моделирования; 2 — значения, полученные с помощью математической модели, построенной методом аппроксимации;  $\bar{F}(x) = 0,0002x^6 - 0,0446x^5 + 3,0272x^4 - 89,641x^3 + 1068,1x^2 + 9368,4x + 18\,135$  — математическая модель усредненной продольной силы;  $x$  — порядковый номер межвагонной связи (сцепы);  $R^2 = 0,949$  — коэффициент детерминации

Fig. 6. Diagram of longitudinal forces in the train 9.8 s after beginning of the service and braking from a speed of 30 km/h:

1 — values obtained during modeling; 2 — values obtained by means of mathematical model built using approximation method;  $\bar{F}(x) = 0,0002x^6 - 0,0446x^5 + 3,0272x^4 - 89,641x^3 + 1068,1x^2 + 9368,4x + 18\,135$  — mathematical model of averaged longitudinal force;  $x$  — sequential number of the two-car string (coupling);  $R^2$  — determination coefficient

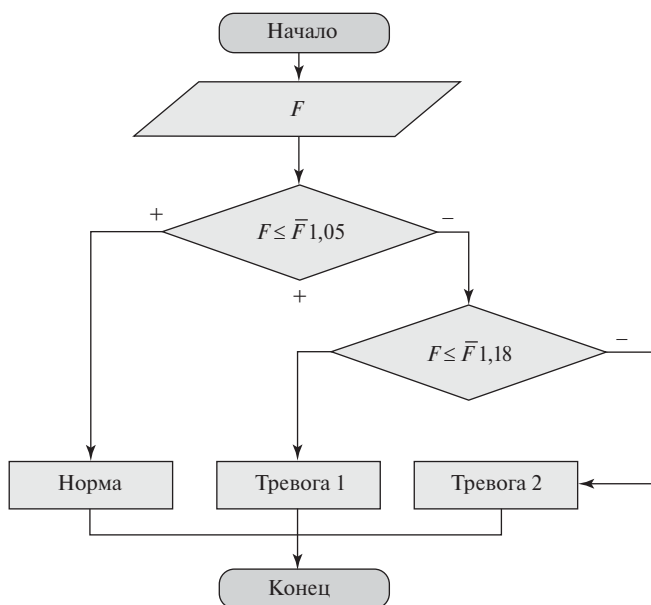


Рис. 7. Блок-схема алгоритма определения неисправного или предотказного состояния поглощающего аппарата вагона, находящегося в составе

Fig. 7. Flow chart of the algorithm of determination of failed or pre-failure condition of the shock-absorbing unit of the car within the train

**Закключение.** При оснащении грузовых вагонов предложенной бортовой системой мониторинга поглощающего аппарата становится возможным значительное снижение влияния описанных в статье факторов на уровень безопасности движения, а также на потенциальные разрывы поездов и сходы вагонов с рельсов. Помимо возможности в любой момент времени узнать о текущем техническом состоянии каждого поглощающего аппарата в составе, появится возможность прогнозирования его остаточного ресурса на основании непрерывно получаемых данных. Создание базы статистических данных позволит совершенствовать существующие и разрабатывать новые модели поглощающих аппаратов с учетом этой информации.

Внедрение данной системы выгодно и для владельцев грузовых вагонов, так как для них впервые открывается возможность выявления превышений продольных динамических воздействий на их вагоны при выполнении маневровых работ на сортировочных горках, где возможны соударения, а значит, повреждения не только самого поглощающего аппарата, но и остальных узлов вагона, таких как рама, кузов, крепления подвесного оборудования и перевозимых грузов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РЖД-Партнер. Революционные инновации на службе у потребителя [Электронный ресурс]. 2010. URL: [http://www.tvsz.ru/press\\_center/company\\_in\\_the\\_media/74.html](http://www.tvsz.ru/press_center/company_in_the_media/74.html) (дата обращения: 08.02.2019 г.).

2. Харыбин И.А., Орлова А.М., Додонов А.В. Совершенствовать ходовую часть грузовых вагонов [Электронный ресурс]. 2009. URL: [http://www.engcenter.ru/press/list\\_vagon/vvh-7-rus.pdf](http://www.engcenter.ru/press/list_vagon/vvh-7-rus.pdf) (дата обращения: 08.02.2019 г.).

3. ПКБ ЦВ ОАО «РЖД». Справочные материалы по причинам поступления грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт [Электронный ресурс]. 2018. URL: <http://pkbcv.ru/docs/%D0%A2%D0%9E%D0%A0%202018-09.pdf> (дата обращения: 18.02.2019 г.).

4. РЖД-Партнер. Меньшакова М. С 2010 г. объем выпуска грузовых вагонов из текущего отцепочного ремонта вырос более чем в два раза [Электронный ресурс]. 2015. URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/s-2010-g--obem-vypuska-gruzovykh-vagonov-iz-tekuschego-ottsepochnogo-remonta-vyros-bolee-chem-v-dva-raz/> (дата обращения: 28.07.2019 г.).

5. Плетнев С. Вагон на полном пансионе: как сократить время ремонта. Gudok.ru [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://www.gudok.ru/freighttrans/?ID=1451656> (дата обращения: 18.02.2019 г.).

6. Савин Г.В., Гиниятуллин Р.Н., Потапова Е.В. Специфика формирования стоимости текущего отцепочного ремонта в Российской Федерации // Управленец. 2016. № 4 (62). С. 58–65.

7. Хусаинов Ф. Хотели как лучше: почему на рынок вернулся дефицит грузовых вагонов. РБК. Мнение [Электронный ресурс]. 2017. URL: <https://www.rbc.ru/opinions/economics/26/10/2017/59fle87a9a79470d83fc12b5> (дата обращения: 09.02.2019 г.).

8. ОАО «РЖД». Раскрытие информации ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. 2003–2019. URL: [http://www.rzd.ru/openinfo/public/ru?STRUCTURE\\_ID=5131&archive=1&textSearch=&form\\_id=28&year\\_id=2019](http://www.rzd.ru/openinfo/public/ru?STRUCTURE_ID=5131&archive=1&textSearch=&form_id=28&year_id=2019) (дата обращения: 17.03.2019 г.).

9. ОАО «РЖД». Краткое описание Стратегии развития холдинга «РЖД» до 2030 года [Электронный ресурс]. 2015. URL: <http://ar2015.rzd.ru/ru/strategy/development-strategy-2030> (дата обращения: 12.02.2019 г.).

10. Матяш Ю.И., Гаджиев И.А. Разработка беспроводной бортовой информационной системы мониторинга технического состояния узлов грузового вагона на ходу поезда // Информационные и управляющие системы на транспорте и в промышленности. Материалы II всероссийской научно-технической конференции. 2018. С. 99–107.

11. PJM. WaggonTracker. Intelligent rail freight transport featured by WaggonTracker [Электронный ресурс]. URL: <https://pjm.co.at/en/waggontracker/> (дата обращения: 30.07.2019 г.).

12. Лебедева Е. Наш трекер работает и зимой. Gudok.ru [Электронный ресурс]. 2017. URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1388975> (дата обращения: 30.07.2019 г.).

13. Бушуев Р.Ю., Колосов А.В., Степанов И.Б., и др. Устройство мониторинга рельсового транспортного средства и магнито-электрический генератор. Патент РФ на изобретение RU № 2627959. URL: <https://patentinform.ru/inventions/reg-2627959.html> <http://www.freepatent.ru/patents/2574917> (дата обращения: 13.04.2019 г.).

14. Стратегия развития транспортного машиностроения Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 августа 2017 г. № 1756-п [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/klnxiLOfYHPRsEe6cD9NsI0KM32LMacz.pdf> (дата обращения: 01.03.2019 г.).

15. Матяш Ю.И., Гаджиев И.А. Совершенствование устройства электропитания для бортовой системы диагностирования технического состояния грузового вагона на ходу поезда // Известия Транссиба. 2018. № 1 (33). С. 48–55.

16. Матяш Ю.И., Гаджиев И.А. Разработка автономного источника электропитания бортовой системы диагностирования технического состояния грузовых вагонов // Информационные и управляющие системы на транспорте и в промышленности. Материалы II всероссийской научно-технической конференции. 2017. С. 43–47.

17. Пряников С.А. Повышение надежности автосцепного устройства грузовых вагонов на основе совершенствования

контроля технического состояния пружинно-фрикционных поглощающих аппаратов при ремонте: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Екатеринбург, 2008. 22 с. URL: <https://search.rsl.ru/record/01003459863> (дата обращения: 02.03.2019 г.).

18. Гуров А. М. Оценка влияния параметров современных амортизаторов удара на продольную динамику поезда: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Орел, 2007. 23 с. URL: <https://search.rsl.ru/record/01003161060> (дата обращения: 02.03.2019 г.).

19. Израилев В. Я. Сравнительная оценка методов исследования напряженно-деформированного состояния элементов вагона при продольных динамических воздействиях: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Брянск, 1997. 21 с. URL: <https://search.rsl.ru/record/01000112641> (дата обращения: 02.03.2019 г.).

20. Козулин Г. Роспуск без повреждений. Gudok.ru [Электронный ресурс]. 2018. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1443294&archive=2018.11.20> (дата обращения: 18.03.2019 г.).

21. Оленевич А. А., Гуд Ю. О., Белоголов Ю. И. Неисполнение требований регламентирующих документов как одна из причин низкого уровня безопасности [Электронный ресурс] // Молодая наука Сибири: электронный научный журнал. 2018. № 2. URL: [http://mnv.irknps.ru/sites/default/files/articles\\_pdf\\_files/yu.i.belogolov\\_a.a.olencevich\\_yu.o.gud\\_2.pdf](http://mnv.irknps.ru/sites/default/files/articles_pdf_files/yu.i.belogolov_a.a.olencevich_yu.o.gud_2.pdf) (дата обращения: 11.03.2019 г.).

22. Козубенко В. Г., Кибальченко О. В., Шевченко К. Д., Суханова О. Н. Влияние продольных динамических сил в грузовом поезде на срабатывание воздухораспределителей на самоторможение // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2000. № 2. С. 111–113.

23. Асадченко В. Р. Анализ тормозной эффективности поездов при их разрыве // Транспорт Урала. 2006. № 1 (8). С. 39–44.

24. Ромен Ю. С., Мугинштейн Л. А., Неверова Л. И. Влияние продольных сил в поездах на опасность схода вагонов в зависимости от их загрузки // Транспорт Российской Федерации. 2013. № 3 (46). С. 64–68.

25. Краснощёк А. Стабильное движение вперед. Gudok.ru [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1452527&archive=2019.02.07> (дата обращения: 15.03.2019 г.).

26. Акопов Л. Верные выводы. Gudok.ru. Волжская магистраль [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://www.gudok.ru/zdr/168/?ID=1451321&archive=49075> (дата обращения: 02.03.2019 г.).

27. Жиров П. Д. Оценка влияния эксплуатационных факторов на эффективность работы поглощающих аппаратов автосцепки: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Брянск, 2012. 18 с. URL: <https://search.rsl.ru/record/01005009243> (дата обращения: 02.03.2019 г.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**МАТЯШ Юрий Иванович,**

д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны», ОмГУПС

**ГАДЖИЕВ Ибрагим Азимович,**

аспирант кафедры «Вагоны», ОмГУПС

Статья поступила в редакцию 21.03.2019 г., актуализирована 18.06.2019 г., принята к публикации 04.07.2019 г.

## Development of an onboard monitoring device for freight car shock-absorbing device's technical condition

Yu. I. MATYASH, I. A. GADZHEV

Omsk State Transport University (OSTU), 644046, Omsk, Russia

**Abstract.** Good technical condition of rolling stock is an important consideration for increasing safety in train traffic. Safety is the state's priority in the development and modernization of the railroad industry. The goal of this study is to develop an onboard monitoring device for a freight car's shock-absorbing device's technical condition. This justifies the need to control the serviceability of the unit and the urgency to equip freight cars with onboard monitoring systems. The following tasks were set and resolved: collection and analysis of information on the dynamics of changes in the number of faults of freight cars serviced at the sites of the current uncoupling repair of Russian companies from 2008 to 2018; study the expediency of the primary control of serviceability of different units of the freight car; collection and analysis of information including statistical data, scientific publications, and thesis on the effect of a failed shock-absorbing device on other units of the freight car and reduction of the train's overall traffic safety. The study enabled development and manufacturing of a mockup onboard monitoring device freight car shock-absorbing device's technical condition, with its functional capabilities described. To increase the diagnostics accuracy, technology defining failure criteria of the controlled unit and reduction of its operation effectiveness is developed. The main recommendations for using the proposed onboard device are also provided. The principal advantages of the device are underlined and reasons for freight rolling stock owners to equip their cars with the developed system are advanced.

**Keywords:** traffic safety; car; transportation of cargo; monitoring system; shock-absorbing device; failures interaction; fault criteria

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-218-226>

## REFERENCES

1. RZD-Partner. *Revolutsionnye innovatsii na sluzhbe u potrebitelya*. URL: [http://www.tvsz.ru/press\\_center/company\\_in\\_the\\_media/74.html](http://www.tvsz.ru/press_center/company_in_the_media/74.html) (retrieved on 08.02.2019).
2. Kharybin I. A., Orlova A. M., Dodonov A. V. *Sovershenstvovat' khodovuyu chast' gruzovykh vagonov* [Improving the wheels and axles of freight cars: Engineering Center of Car Building]. URL: [http://www.engcenter.ru/press/list\\_vagon/vvh-7-rus.pdf](http://www.engcenter.ru/press/list_vagon/vvh-7-rus.pdf) (retrieved on 08.02.2019).
3. PKB TsV OAO "RZD". *Spravochnye materialy po prichinam postupleniya gruzovykh vagonov v tekushchiy ottsepochnyy remont*. URL: <http://pkbcv.ru/docs/%D0%A2%D0%9E%D0%A0%202018-09.pdf> (retrieved on 18.02.2019).
4. RZD-Partner. Men'shakova M. *5 2010 g. ob'em vypuska gruzovykh vagonov iz tekushchego ottsepochnogo remonta vyros bole chem v dva raza*. URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/s-2010-g--obem-vypuska-gruzovykh-vagonov-iz-tekushchego-ottsepochnogo-remonta-vyros-bolee-chem-v-dv/> (retrieved on 28.07.2019).
5. Pletnev S. *Vagon na polnom pansione: kak sokratit' vremya remonta*. Gudok.ru [Gudok. News of the railway, motor, air and water transport, machine building and logistics]. URL: <https://www.gudok.ru/freighttrans/?ID=1451656> (retrieved on 18.02.2019).
6. Savin G. V., Giniyatullin R. N., Potapsteva E. V. *Spetsifika formirovaniya stoimosti tekushchego ottsepochnogo remonta v Rossiyskoy Federatsii*. Upravlenets, 2016, no. 4(62). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-formirovaniya-stoimosti-tekushchego-ottsepochnogo-remonta-v-rossiyskoy-federatsii> (retrieved on 18.02.2019).



7. Khusainov F. *Khoteli kak luchshe: pochemu na rynek vernul'sya defitsit gruzovykh vagonov*. RBK. Mnenie [Opinion. RBC]. URL: <https://www.rbc.ru/opinions/economics/26/10/2017/59f1e87a9a79470d83fc12b5> (retrieved on 9.02.2019).

8. OAO "RZD". *Raskrytie informatsii OAO "RZD"* [Disclosure of information of JSC "RZD"]. URL: [http://www.rzd.ru/openinfo/public/ru?STRUCTURE\\_ID=5131&archive=1&textSearch=&form\\_id=28&year\\_id=2019](http://www.rzd.ru/openinfo/public/ru?STRUCTURE_ID=5131&archive=1&textSearch=&form_id=28&year_id=2019) (retrieved on 17.03.2019).

9. OAO "RZD". *Kratkoe opisaniye Strategii razvitiya kholdinga "RZD" do 2030 goda*. URL: <http://ar2015.rzd.ru/ru/strategy/development-strategy-2030> (retrieved on 12.02.2019).

10. Matyash Yu. I., Gadzhiev I. A. *Razrabotka besprovodnoy bortovoy informatsionnoy sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya uzlov gruzovogo vagona na khodu poezda*. Informatsionnye i upravlyayushchie sistemy na transporte i v promyshlennosti / Materialy II vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Omsk. Omsk State Transport University, 2018, pp. 99–107.

11. *WaggonTracker PJM Electronic resource*: PJM — Railway Systems Solutions. URL: <https://pjm.co.at/en/waggontracker/> (retrieved on 30.07.2019).

12. Lebedeva E. *Nash treker rabotaet i zimoy* [Elektronnyy resurs]. Gudok.ru [Gudok. News of the railway, motor, air and water transport, machine building and logistics]. URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1388975> (retrieved on 30.07.2019).

13. Patent RF na izobretenie RU № 2627959. Bushuev R. Yu., Kolosov A. V., Stepanov I. B., i dr. *Ustroystvo monitoringa rel'sovogo transportnogo sredstva i magnitoelektricheskii generator* [Pat. 2627959 Russian Federation, MPK V 61 L 25/04. Arrangement of monitoring of the rail transport and permanent magnet generator / Bushuev R. Yu., Kolosov A. V., Stepanov I. B., Sysenko R. V., Tyupin R. V. no. 2016128518; statement dated 13.07.2016; published on 14.08.2017].

14. *Strategiya razvitiya transportnogo mashinostroeniya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda*: utv. Rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17 avgusta 2017 g. № 1756-r [Enactment of the Government of the Russian Federation "Strategy of development of transport engineering in the Russian Federation until 2030", dated August 17, 2017 no. 1756-r. Government of Russia]. URL: <http://static.government.ru/media/files/klxnlOfYHPRsEe6cD9NsI0KM32LMacz.pdf> (retrieved on 01.03.2019).

15. Matyash Yu. I., Gadzhiev I. A. *Sovershenstvovanie ustroystva elektropitaniya dlya bortovoy sistemy diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya gruzovogo vagona na khodu poezda*. Izvestiya Transsiba [News of Transsib], 2018, no. 1 (33), pp. 48–55.

16. Matyash Yu. I., Gadzhiev I. A. *Razrabotka avtonomnogo istochnika elektropitaniya bortovoy sistemy diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya gruzovykh vagonov*. Informatsionnye i upravlyayushchie sistemy na transporte i v promyshlennosti / Materialy II vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Development of the autonomous electric power source of the onboard system of diagnostics of the freight car technical condition / Information and control systems for transport and industry: material of II All-Russia scientific-practical conference]. Omsk, Omsk State Transport University, 2017, pp. 43–47.

17. Pryanikov S. A. *Povysheniye nadezhnosti avtostsepnogo ustroystva gruzovykh vagonov na osnove sovershenstvovaniya kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya pruzhinno-friktsionnykh pogloshchayushchikh apparatov pri remonte*: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Enhancement of reliability of the freight cars automatic coupling device based on improvement of the technical condition

control of the spring-loaded friction draft gears for repair: dissertation of the candidate of technical sciences: 05.22.07]. Yekaterinburg, 2008, 126 p.

18. Gurov A. M. *Otsenka vliyaniya parametrov sovremennykh amortizatorov udara na prodol'nuyu dinamiku poezda*: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Orel, 2007, 23 p.

19. Izrailev V. Ya. *Sravnitel'naya otsenka metodov issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya elementov vagona pri prodol'nykh dinamicheskikh vozdeystviyakh*: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Bryansk, 1997, 21 p.

20. Kozulin G. *Rospusk bez povrezhdeniy* [Elektronnyy resurs]. Gudok.ru. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1443294&archive=2018.11.20> (retrieved on 18.03.2019).

21. Olentsevich A. A., Gud Yu. O., Belogolov Yu. I. *Neispolneniye trebovaniy reglamentiruyushchikh dokumentov kak odna iz prichin nizkogo urovnya bezopasnosti*. Molodaya nauka Sibiri: elektronnyy nauchnyy zhurnal [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, no. 2. URL: [http://mnv.irkgups.ru/sites/default/files/articles\\_pdf\\_files/yyu.i\\_belogolov\\_a.a\\_olentsevich\\_yu.o\\_gud\\_2.pdf](http://mnv.irkgups.ru/sites/default/files/articles_pdf_files/yyu.i_belogolov_a.a_olentsevich_yu.o_gud_2.pdf) (retrieved on 11.03.2019).

22. Kozubenko V. G., Kibal'chenko O. V., Shevchenko K. D., Sukhanova O. N. *Vliyaniye prodol'nykh dinamicheskikh sil v gruzovom poezde na srbatyvaniye vozdukhoraspredeliteliy na samotormozheniye*. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [Bulletin of Rostov state railroad university], 2000, no. 2, pp. 111–113.

23. Asadchenko V. R. *Analiz tormoznoy effektivnosti poezdov pri ikh razryve*. Transport Urala [Transport of the Urals], 2006, no. 1 (8), pp. 39–44.

24. Romen Yu. S., Muginshtein L. A., Neverova L. I. *Vliyaniye pro dol'nykh sil v poezdakh na opasnost' skhoda vagonov v zavisimosti ot ikh zagruzki*. Transport Rossiyskoy Federatsii [Transport of the Russian Federation], 2013, no. 3 (46). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-prodolnyh-sil-v-poezdah-na-opasnost-shoda-vagonov-v-zavisimosti-ot-ih-zagruzki> (retrieved on 11.02.2019).

25. Krasnoshchek A. *Stabil'noe dvizheniye vpered* [Elektronnyy resurs]. [Stable move forward (Electronic resource)]. Gudok.ru [Gudok: News of the railway, motor, air and water transport, machine building and logistics]. URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1452527&archive=2019.02.07> (retrieved on 15.03.2019).

26. Akopov L. *Vernye vyvody. Volzhskaya magistral'* [Elektronnyy resurs] [Correct conclusions (Electronic resource)]. Gudok.ru. [Gudok: News of the railway, motor, air and water transport, machine building and logistics]. URL: <https://www.gudok.ru/zdr/168/?ID=1451321&archive=49075> (retrieved on 02.03.2019).

27. Zhiron P. D. *Otsenka vliyaniya ekspluatatsionnykh faktorov na effektivnost' raboty pogloshchayushchikh apparatov avtostseпки*: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Bryansk, 2012, 18 p.

## ABOUT THE AUTHORS

**Yury I. MATYASH,**

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department "Cars", OSTU

**Ibragim A. GADZHIEV,**

Postgraduate Student, Department "Cars", OSTU

Received 21.03.2019

Revised 18.06.2019

Accepted 04.07.2019

■ E-mail: [ibragimgadzhiev@gmail.com](mailto:ibragimgadzhiev@gmail.com) (I. A. Gadzhiev)