

УДК 629.463

Пассивная безопасность грузовых вагонов как критерий инновационности грузового подвижного состава

А. А. Комайданов¹, А. Н. Смирнов², М. В. Зверев¹, Т. М. Чернова¹

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

²АО «НВЦ «Вагоны», Российская Федерация, 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 22, литера М

Для цитирования: Комайданов А. А., Смирнов А. Н., Зверев М. В., Чернова Т. М. Пассивная безопасность грузовых вагонов как критерий инновационности грузового подвижного состава // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 3. — С. 729–738. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-729-738

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы применения систем пассивной безопасности на железнодорожном транспорте. Проведен анализ существующих систем защиты, их конструктивных особенностей и эффективности. **Цель исследования:** Анализ существующих систем пассивной безопасности в транспортной отрасли и разработка обоснованных технических решений по внедрению систем пассивной безопасности на грузовых вагонах. **Результаты:** Проведен анализ развития систем пассивной безопасности; рассмотрены нормативные документы, и выявлены причины, по которым невозможно на данном этапе внедрить крэш-элементы в конструкцию грузового подвижного состава; на основе анализа систем пассивной безопасности предложены варианты для их применения на грузовом подвижном составе; предлагается применять крэш-элементы на некоторых типах грузовых вагонов, в зависимости от их конструктивных особенностей. **Практическая значимость:** Применение крэш-буферов и комбинированных сцепок на некоторых типах грузового подвижного состава в случае аварийной ситуации позволит: снизить риск схода вагона с рельсов и повреждения кузова вагона за счет поглощения энергии удара; обеспечить сохранность груза в случае аварийной ситуации; снизить вероятность разрушения объектов инфраструктуры и элементов верхнего строения пути и затраты на ремонт подвижного состава.

Ключевые слова: Пассивная безопасность, грузовой вагон, инновационный подвижной состав, жертвенные части, крэш-буфер.

Введение

Первоочередной задачей на всех этапах развития железнодорожного транспорта является обеспечение и повышение безопасности его движения. Одним из направлений повышения безопасности движения железнодорожного транспорта являются системы активной и пассивной безопасности.

В соответствии с ГОСТ 32410—2013 системы активной безопасности — это совокупность

технических средств и организационных мероприятий, направленных на предотвращение аварийных столкновений железнодорожного подвижного состава. Системы пассивной безопасности представляют собой совокупность специальных устройств и технических решений в конструкции железнодорожного подвижного состава для повышения пассивной безопасности (снижения рисков для пассажиров и персонала поезда) в случае аварийного столкновения [1, 2].

Таким образом, системы активной безопасности направлены на предотвращение аварийных ситуаций, а системы пассивной безопасности направлены на снижение последствий уже возникших аварий. Однако системы пассивной безопасности в настоящее время широко распространены лишь на пассажирском подвижном составе, в конструкции грузовых вагонов системы пассивной безопасности практически не применяются.

Цель исследования

Основной целью исследования является обзор существующих систем пассивной безопасности, применяемых в транспортной отрасли, а также выбор оптимальных конструктивных решений для возможного применения системы пассивной безопасности на грузовых вагонах в качестве инновационного направления развития в области грузового вагоностроения.

Актуальность исследования

Появление и развитие систем пассивной безопасности в транспортной отрасли неразрывно связано с повышением скоростей движения транспортных средств. Инициация разработки и последующее становление технологий пассивной защиты относится к автомобильной индустрии. В 1959 году венгерский инженер Бела Барени получил патент на конструкцию кузова автомобиля с программируемой деформацией [3].

В области железнодорожного транспорта системы пассивной безопасности получили свое развитие в конце XX века. Ключевым этапом развития таких систем стали масштабные международные научно-исследовательские работы, в рамках которых был выполнен детальный статистический анализ железнодорожных аварийных ситуаций на территории Европы [4]. Результаты краш-тестов макета подвижного состава послужили основой для создания наиболее распространенных случаев столкновений. Результатом про-

ведения этих работ стало создание европейских стандартов безопасности. Параллельно с европейскими странами в США проходили работы по изучению ударной стойкости кузовов вагонов, в результате чего также были разработаны стандарты безопасности.

В Российской Федерации первые нормативные требования по применению элементов пассивной безопасности были утверждены в середине 2011 года в рамках регламентов «О безопасности железнодорожного подвижного состава» и «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта». В настоящее время действуют регламенты Таможенного союза ТР ТС 001/2011 и ТР ТС 002/2011, а также ГОСТ 32410—2013, который распространяется на пассажирские локомотивы, моторвагонный подвижной состав и пассажирские вагоны локомотивной тяги. Стоит отметить, что требования данных нормативных документов не распространяются на грузовые вагоны [5, 6].

В настоящее время системы пассивной безопасности широко распространены на локомотивах, пассажирском, моторвагонном подвижном составе и практически не применяются на грузовом [7]. Считается, что если грузовой вагон не перевозит пассажиров, то он не нуждается в системах пассивной безопасности, однако стоимость некоторых грузовых вагонов на сегодняшний день говорит об обратном.

Современные инновационные вагоны (рис. 1) представляют собой высокотехнологичные устройства, стоимость которых существенно отличается от остальных классических вагонов.

Поиск оптимального решения

На сегодняшний день парк грузовых вагонов насчитывает существенное количество дорогостоящих вагонов [8, 9], к ним относятся: изо-термические вагоны, которые содержат дорогостоящее оборудование и конструкцию кузова



Рис. 1. Современные инновационные вагоны:

а — вагон-хоппер из алюминиевого сплава модели 19-1299 (по материалам сайта «Вагон-груз»; постоянная ссылка: <https://wagon-cargo.ru/news/rm-reyl-sertifitsirovala-alyuminiyuy-vagon-khopper-modeli-19-1299-01>); *б* — вагон-цистерна из алюминиевого сплава модели 15-6901 (по материалам сайта Univagon; постоянная ссылка: https://www.uniwagon.com/products/tank_cars_for_transportation_of_chemically_active_substances/tank_car_for_concentrated_nitric_acid_model_15-6901); *в* — вагон-цистерна из алюминиевого сплава модели 15-1232-05 (по материалам сайта fedpress; постоянная ссылка: <https://fedpress.ru/news/50/economy/3123361>); *г* — вагон-хоппер из низколегированной стали повышенной прочности (автор: А. Н. Смирнов, 2017; фото предоставлено для использования в данной статье); *д* — вагон-цистерна с котлом переменной кривизны (по материалам сайта «Моя колея 1520»; постоянная ссылка: <https://мояколея1520.рф/new/4986>); *е* — крытый вагон модели 11-2151 с раскрывающейся крышей (по материалам статьи «Инновационный вагон модели 11-2151»; постоянная ссылка: <https://dzen.ru/a/ZS7EKtYQD3pvUgFO>); *ж* — изотермический вагон-термос модели 16-1239 с увеличенным объемом кузова (автор: А. А. Комайданов, 2023; фото предоставлено для использования в данной статье); *з* — автономный рефрижераторный вагон модели 16-2155 (автор: А. А. Комайданов, 2023; фото предоставлено для использования в данной статье)

(холодильная установка, теплоизоляционный материал) (рис. 1, ж, з); вагоны из различного рода алюминиевых сплавов (рис. 1, а–в); вагоны, в конструкции которых используются высокопрочные стали (рис. 1, г); вагоны уникальной конструкции (рис. 1, д, е).

Интеграция систем пассивной безопасности в конструкцию грузовых вагонов позволяет минимизировать финансовые затраты на ликвидацию последствий аварийных ситуаций. Тем не менее существует ряд технологических ограничений, не позволяющих адаптировать защитные системы, успешно применяемые на локомотивах и пассажирском подвижном составе, к условиям эксплуатации грузовых вагонов.

Это обусловлено особенностями эксплуатации парка грузовых вагонов, его конструктивного исполнения и требованиями к эксплуатации.

Важно отметить, что эффективность внедрения систем пассивной безопасности должна оцениваться не только с позиции снижения затрат на восстановительные работы, но и с точки зрения влияния на безопасность перевозочного процесса в целом.

Рассмотрим типовые сценарии аварийных ситуаций с грузовыми вагонами, при которых применение крэш-систем позволяет минимизировать последствия:

1. Сценарий роспуска вагонов с сортировочной горки. Характеризуется разрушением опорной поверхности заднего упора, что приводит к передаче нагрузки от корпуса автосцепки на ударную розетку. В результате возникает максимальный изгибающий момент на хребтовой балке из-за эксцентриситета нагрузки относительно геометрического центра. Последствия: критическое повреждение или полная деформация хребтовой балки, вывод вагона из эксплуатации.

2. Сценарий выдавливания порожнего вагона. При осаживании состава происходит вертикальное смещение порожнего вагона (при отсутствии

ограничителей саморасцепа). Автосцепка упирается в кузов соседнего вагона. После трогания поезда выдавленный вверх вагон опускается, и зев автосцепки повреждает кузов (котел с опасным грузом) соседнего вагона.

Одной из самых распространенных систем пассивной безопасности, применяемых на железных дорогах, является крэш-система. Это аварийная система безопасности, предназначенная для защиты пассажиров при столкновении подвижного состава с препятствием. Принцип работы крэш-систем основан на поглощении кинетической энергии подвижного состава (объектов аварийного столкновения) при помощи необратимой деформации конструкций, входящих в эту систему, не являющихся элементами несущей конструкции кузова.

Согласно требованиям ГОСТ 32410—2013, для проверки эффективности аварийных крэш-систем используются два основных сценария:

- столкновение с груженым вагоном массой 80 т на скорости 36 км/ч;
- столкновение с неподвижным препятствием массой 10 т на скорости 72 или 110 км/ч — в зависимости от конструкционной скорости участвующей в столкновении единицы подвижного состава.

Также перед проектированием устройств поглощения энергии проводят расчет суммарной энергоемкости:

$$U = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \cdot \frac{V^2}{2}, \quad (1)$$

где U — энергоемкость проектируемого устройства;

M_1 — масса исследуемого подвижного состава;

M_2 — масса препятствия;

V — скорость столкновения.

Крэш-система должна обладать следующими энергетическими характеристиками:

- для поездов массой 250 т с конструкционной скоростью до 160 км/ч требуется установка с энергопоглощающей способностью около 3 МДж;

- для поездов массой 250 т с конструкционной скоростью 160 км/ч и выше требуется установка с энергопоглощающей способностью до 4,5 МДж.

Попытки создания систем пассивной безопасности на грузовых вагонах были предприняты для некоторых типов вагонов-цистерн, а именно [10]:

- защитные дуги (рис. 2, а), предохраняющие запорные вентили и оборудование при опрокидывании вагона;

- специальные экраны (рис. 2, б), защищающие корпус котла с опасным грузом от пробоя автосцепкой в случае аварийной ситуации;

- задние упоры автосцепки, закрепленные на заклепках и рассчитанные на отрыв от хребтовой балки при превышении допускаемых нагрузок;

- прочие предохранительные элементы: скобы, мембраны и кронштейны, предотвращающие саморасцеп вагонов;

- установка современных поглощающих аппаратов с повышенной энергоемкостью.

Существующие элементы системы пассивной безопасности на вагонах-цистернах не обеспечи-

вают достаточный уровень безопасности при аварийных ситуациях, так как их основная функция ограничивается сохранением перевозимого груза и не предусматривает поглощение ударной энергии.

При разработке и эксплуатации железнодорожного подвижного состава, учитывая особенности конструкции железнодорожного пути, были созданы различные типы систем пассивной безопасности. Эти системы эффективно используются как в отечественном и зарубежном подвижном составе, так и в элементах железнодорожного пути:

- тупиковая призма (рис. 3, а) — устанавливается в конце тупиковых путей, предназначена для остановки и предотвращения выхода состава за пределы пути. Формируются засыпкой металлопродукции инертными материалами, такими как: песок; гравийная смесь;

- путевой энергопоглощающий упор (рис. 3, б) — устанавливается в конце тупиковых путей на вокзалах. Предназначен для остановки неконтролируемого движения состава со скоростью не более 10 км/ч за счет поглощения кинетической энергии состава;

- крэш-буфер (рис. 3, в) — устанавливается на лобовой части локомотивов и головных вагонов моторвагонного подвижного состава. При

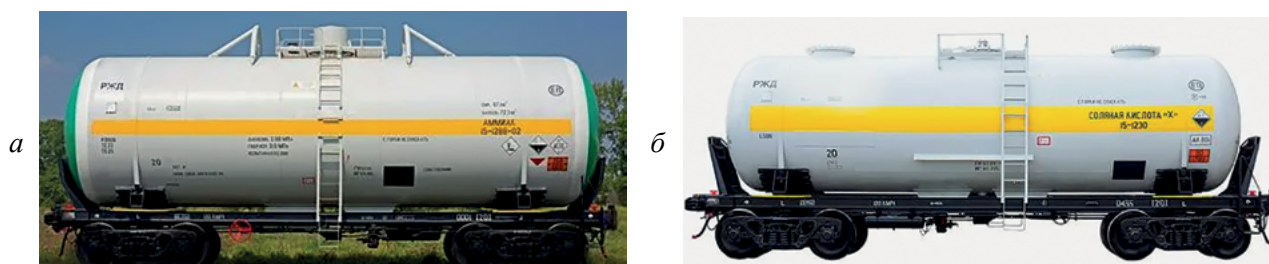


Рис. 2. Вагоны-цистерны с элементами пассивной безопасности:

а — вагон-цистерна модели 15-1288-01 с защитными дугами (по материалам сайта RMrail; постоянная ссылка: <https://rmrail.ru/catalogue/vagony-tsisterny-dlya-khimicheskikh-spetsialnykh-gruzov-snizhennykh-uglevodorodnykh-gazov/vagon-tsisterna-dlya-perevozki-ammiaka>);

б — вагон-цистерна модели 15-1230 с защитными экранами (по материалам сайта RMrail; постоянная ссылка: <https://rmrail.ru/catalogue/vagony-tsisterny-dlya-khimicheskikh-spetsialnykh-gruzov-snizhennykh-uglevodorodnykh-gazov/vagon-tsisterna-dlya-perevozki-solyanoy-kisloty>)

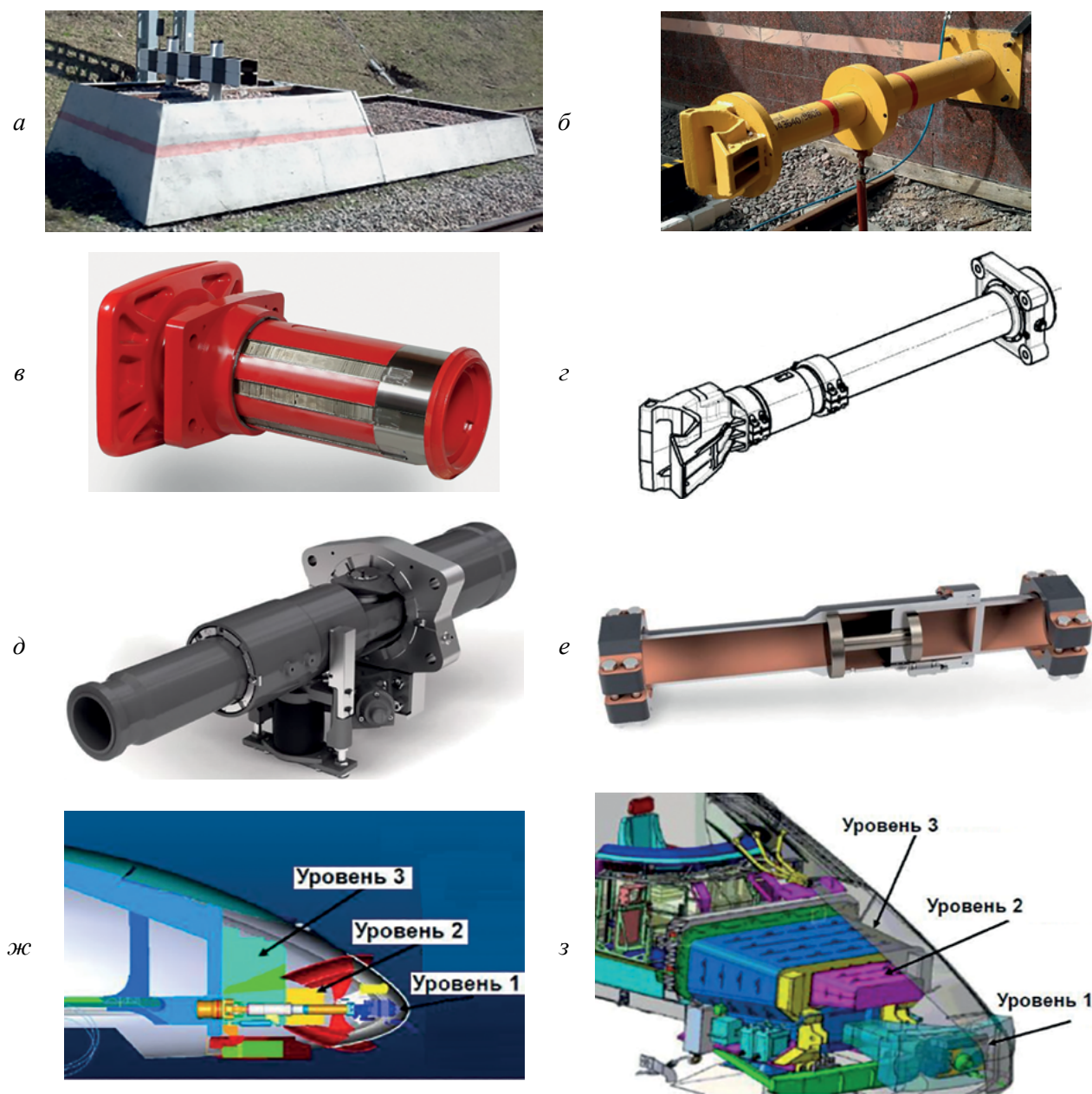


Рис. 3. Современные системы пассивной безопасности, применяемые в железнодорожной отрасли:

а — тупиковая призма (автор: А. Н. Смирнов, 2019; фото предоставлено для использования в данной статье); б — путевой энергопоглощающий упор (автор: М. В. Зверев, 2020; фото предоставлено для использования в данной статье); в — крэш-буфер (по материалам сайта kompass; постоянная ссылка: <https://www.kompass.com/z/pl/p/axtone-s-a/pl001870/crash-buffers/398d5ad3-4045-412b-9bd1-5dd3170a456f/>); г — комбинированная сцепка с крэш-буфером (по материалам сайта etrain; постоянная ссылка: <https://etrain.ru/2022/02/22/эп2д-система-пассивной-безопасности/>); д, е — межвагонный крэш-модуль (по материалам сайта etrain; постоянная ссылка: <https://etrain.ru/2022/02/22/эп2д-система-пассивной-безопасности/>); ж, з — крэш-бокс: уровень 1 — муфта с газо-гидравлическим элементом поглощения энергии; уровень 2 — ребристая конструкция для поглощения энергии; уровень 3 — разрушаемый элемент, поглощающий энергию (по материалам сайта eltroll; постоянная ссылка: https://eltroll2.ru/zd/dizel/RA3_M3.php?ysclid=mcumehzsgz972610867)

столкновении подвижного состава происходит поглощение энергии необратимой деформацией трубы крэш-буфера;

- сцепка, комбинированная с крэш-модулем (рис. 3, з);

- межвагонный крэш-модуль (рис. 3, д, е) — устанавливается в головных и промежуточных узлах сцепления высокоскоростного подвижного состава. Принцип действия основан на редуцировании трубы, проходящей через матрицу;

- крэш-бокс (рис. 3, ж, з) — устанавливается на головных вагонах высокоскоростного подвижного состава перед кабинами машиниста. Существуют одноуровневые и многоуровневые конструкции крэш-боксов, где элементы деформируются постепенно в зависимости от скорости столкновения.

Среди рассмотренных крэш-систем для грузовых вагонов больше подходят крэш-буферы и комбинированная сцепка с крэш-модулем. Их использование на грузовых вагонах остается на усмотрение собственников.

Из-за сложности внесения изменений в документацию предлагается устанавливать крэш-модули на концевых балках вагонов с обеих сторон. При проектировании возможна поэтапная установка комбинированной сцепки.

Однако в настоящий момент применение крэш-буферов на грузовом подвижном составе, представленных на рис. 3, невозможно ввиду отсутствия требований в нормативной документации к крэш-буферам, предназначенным для эксплуатации на грузовых вагонах.

Заключение

Проведенный анализ систем пассивной безопасности, применяемых на железнодорожном транспорте, показал, что применение крэш-буферов и комбинированных сцепок на некоторых типах грузового подвижного состава в случае аварийной ситуации позволит:

- снизить риск схода вагона с рельсов и повреждения кузова вагона за счет поглощения, перенаправления или распределения энергии удара;

- обеспечить сохранность груза и предотвратить его утечку в случае аварийной ситуации;

- уменьшить вероятность повреждения объектов железнодорожной инфраструктуры и элементов верхнего строения пути либо сократить последствия нанесенного ущерба;

- оптимизировать затраты на ремонт подвижного состава за счет уменьшения повреждений и внедрения взаимозаменяемых крэш-систем.

Также применение на грузовом вагоне систем пассивной безопасности (крэш-буферов, комбинированной сцепки с крэш-модулем) может стать дополнительным критерием при оценке степени инновационности вагона [11] за счет повышения показателей надежности подвижного состава: безотказности, долговечности и ремонтпригодности.

На наш взгляд, необходим пересмотр ГОСТ 32410—2013 «Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля» в части распространения его требований в том числе и на грузовой подвижной состав.

Список источников

1. Семенов Д. О. Повышение эффективности безопасности и надежности на железнодорожном транспорте / Д. О. Семенов // ТДР. — 2017. — № 3.
2. ГОСТ 32410—2013. Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля. — М.: Стандартинформ, 2019. — 12 с.
3. Феданов Н. С. Развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта / Н. С. Феданов // Теория и практика современной науки. — 2019. — № 9(51).
4. Науменко Н. Е. Оценка эффективности использования элементов защиты конструкций локомотивов и

вагонов пассажирских поездов при аварийных соударениях / Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа, Е. Г. Богомаз, Д. В. Горобец // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. — 2005. — № 8.

5. Беспалько С. В. Моделирование процесса аварийного столкновения электропоезда, оборудованного жертвенными буферами / С. В. Беспалько, В. М. Меланин, М. А. Гордеев // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2015. — № 4(45).

6. Милованов В. К. Опыт создания систем пассивной безопасности для подвижного состава железных дорог / В. К. Милованов, С. В. Дмитриев, А. В. Белянки, С. Ю. Петухов // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. — 2022. — № 3(100).

7. Науменко Н. Е. Оценка влияния работы устройств системы пассивной безопасности пассажирского локомотива на его динамическую нагруженность при аварийном столкновении с препятствием на железной дороге / Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. — 2013. — № 1(43).

8. Бороненко Ю. П. Эффективность применения алюминиевых сплавов в конструкциях грузовых вагонов / Ю. П. Бороненко, А. А. Комайданов, С. М. Дробжев // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XVII Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 21–24 августа 2023 года. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2024. — С. 7–13.

9. Boronenko Yu. P. Evaluation of the Efficiency of the Use of Hopper Cars with Aluminum Alloy Bodies / Yu. P. Boronenko, A. A. Komaidanov, S. M. Drobzhev // BRICS Transport. — 2023. — Vol. 2. — Iss. 3.

10. Евсеев Д. Г. О необходимости формирования единой технической политики для обеспечения пожарной безопасности перевозки опасных грузов по железным дорогам России / Д. Г. Евсеев, В. Н. Филиппов, Г. И. Петров, Ю. Н. Шебеко и др. // Пожаровзрывобезопасность. — 2018. — № 9.

11. Комайданов А. А. Примеры оценки инновационности грузовых вагонов / А. А. Комайданов // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XVII Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 21–24 августа 2023 года. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2024. — С. 53–55.

Дата поступления: 06.06.2025

Решение о публикации: 25.07.2025

Контактная информация:

КОМАЙДАНОВ Алексей Андреевич — аспирант;
komaidanovnvc@yandex.ru

СМИРНОВ Анатолий Николаевич — начальник
испытательного центра; smirnovnvc@mail.ru

ЗВЕРЕВ Михаил Владимирович — канд. техн. наук,
доц.; zverev-nvc@yandex.ru

ЧЕРНОВА Татьяна Михайловна — аспирант;
chernova@pgups.ru

Passive Safety of Freight Wagons As a Criterion for Innovative Freight Rolling Stock

A. A. Komaidanov¹, A. N. Smirnov², M. V. Zverev¹, T. M. Chernova¹

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

²JSC “NVC “Vagony”, 22, litera M, pr-kt Moskovsky, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Komaidanov A. A., Smirnov A. N., Zverev M. V., Chernova T. M. Passive Safety of Freight Wagons As a Criterion for Innovative Freight Rolling Stock // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 3, pp. 729–738. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-729-738

Summary

The article discusses the application of passive safety systems in railway transport. It analyzes existing protection systems, their design features, and effectiveness. **Purpose:** To analyze existing passive safety systems in the transport industry and develop reasonable technical solutions for implementing passive safety systems on freight wagons. **Results:** The development of passive safety systems has been analysed; regulatory documents have been reviewed and the reasons why it is not possible to introduce crash elements into the design of freight rolling stock at this stage have been identified. Based on the analysis of passive safety systems, options for their application on freight rolling stock have been proposed, including crash elements on certain types of freight cars, depending on their design features. **Practical significance:** The use of crash buffers and combined couplers on certain types of freight railcars in emergency situations will reduce the risk of car derailment and damage to the car body due to the absorption of impact energy. This will ensure the safety of cargo in emergency situations, reduce the probability of damage to infrastructure facilities and elements of the track superstructure, and decrease the cost of rolling stock repair.

Keywords: Passive safety, freight railcar/wagon, innovative rolling stock, sacrificial elements, crash buffer.

References

1. Semenov D. O. *Povyshenie effektivnosti bezopasnosti i nadezhnosti na zheleznodorozhnom transporte* [Improving the efficiency of safety and reliability in railway transport]. TDR, 2017, Iss. 3. (In Russian)
2. GOST 32410—2013. *Kresh-sistemy avariynye zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava dlya passazhirskikh perevozok. Tekhnicheskie trebovaniya i metody kontrolya* [Crash systems emergency railway rolling stock for passenger transportations. Technical requirements and methods of control]. Moscow: Standartinform Publ., 2019, 12 p. (In Russian)
3. Fedanov N. S. *Razvitie vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta* [Development of high-speed railway transport]. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki* [Theory and practice of modern science]. 2019, Iss. 9(51). (In Russian)
4. Naumenko N. E., Khizha I. Yu., Bogomaz E. G., Gorobets D. V. *Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya elementov zashchity konstruktsiy lokomotivov i vagonov passazhirskikh poezdov pri avariynnykh soudarniyakh* [Assessment of the effectiveness of using elements of protection of locomotive and passenger car structures in case of emergency collisions]. *Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta* [Science and progress of transport. Bulletin of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport]. 2005, Iss. 8. (In Russian)
5. Bepalko S. V., Melanin V. M., Gordeev M. A. *Modelirovanie protsessa avariynogo stolknoveniya*

elektropoezda, oborudovannogo zhertvennymi buferami [Modeling the process of emergency collision of an electric train equipped with sacrificial buffers]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2015, Iss. 4(45). (In Russian)

6. Milovanov V. K., Dmitriev S. V., Belyanki A. V., Petukhov S. Yu. Opyt sozdaniya sistem passivnoy bezopasnosti dlya podvizhnogo sostava zheleznikh dorog [Experience in creating passive safety systems for railway rolling stock]. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike* [Transport of the Russian Federation. Journal of science, practice, economics]. 2022, Iss. 3(100). (In Russian)

7. Naumenko N. E., Khizha I. Yu. Otsenka vliyaniya raboty ustroystv sistemy passivnoy bezopasnosti passazhirskogo lokomotiva na ego dinamicheskuyu nagruzhennost' pri avariynom stolknovenii s prepyatstviem na zheleznoy doroge [Assessment of the impact of passive safety system devices on the dynamic loading of a passenger locomotive during an emergency collision with an obstacle on the railway]. *Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta* [Science and progress of transport. Bulletin of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport]. 2013, Iss. 1(43). (In Russian)

8. Boronenko Yu. P., Komaidanov A. A., Drobzhev S. M. Effektivnost' primeneniya aluminiyevykh splavov v konstruktsiyakh gruzovykh vagonov [Efficiency of using aluminum alloys in freight car structures]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty: materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 21–24 avgusta 2023 goda* [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects: materials of the XVII International scientific and technical conference, St. Petersburg, August 21–24, 2023]. Saint Petersburg: PGUPS Publ., 2024, pp. 7–13. (In Russian)

9. Boronenko Yu. P., Komaidanov A. A., Drobzhev S. M. Evaluation of the Efficiency of the Use of Hopper Cars with Aluminum Alloy Bodies. *BRICS Transport*. 2023, vol. 2, Iss. 3.

10. Evseev D. G., Filippov V. N., Petrov G. I., Shebeko Yu. N. et al. O neobkhodimosti formirovaniya edinoy tekhnicheskoy politiki dlya obespecheniya pozharnoy bezopasnosti perevozki opasnykh gruzov po zheleznym dorogam Rossii [On the necessity of forming a unified technical policy to ensure fire safety in the transportation of dangerous goods by rail in Russia]. *Pozharovzryvobezopasnost'* [Fire and Explosion Safety]. 2018, Iss. 9. (In Russian)

11. Komaidanov A. A. Primery otsenki innovatsionnosti gruzovykh vagonov [Examples of assessing the innovation of freight cars]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty: materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 21–24 avgusta 2023 goda* [Rolling Stock of the 21st Century: Ideas, Requirements, Projects: Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference, St. Petersburg, August 21–24, 2023]. Saint Petersburg: PGUPS Publ., 2024, pp. 53–55. (In Russian)

Received: June 06, 2025

Accepted: July 25, 2025

Author's information:

Aleksey A. KOMAIDANOV — Postgraduate Student;
komaidanovnc@yandex.ru

Anatoly N. SMIRNOV — Head of the Testing Center;
smirnovnc@mail.ru

Mikhail V. ZVEREV — PhD in Engineering, Associate Professor;
zverev-nvc@yandex.ru

Tatyana M. CHERNOVA — Postgraduate Student;
chernova@pgups.ru