

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 629.4.014
doi: 10.30987/2782-5957-2024-5-56-61

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОСЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Виктор Николаевич Филиппов^{1✉}, Иван Константинович Сергеев², Александр Всеволодович Пищик³, Надежда Михайловна Курзина⁴

¹ Москва, Россия

^{2,3,4} Российский университет транспорта, Москва, Россия

¹ filipovvn@gmail.com

² sergeev.workmail@yandex.ru

³ alexander.p96@mail.ru

⁴ kurzina.nadia@gmail.com

Аннотация

Рассмотрены проблемы эксплуатации автосцепного устройства с учетом существенных изменений условий эксплуатации грузовых вагонов. Проанализирован опыт эксплуатации автосцепного устройства грузовых вагонов отечественных железных дорог и Соединенных Штатов Америки, определены общие проблемные вопросы. Определены подходы в исследовании режимов продольно-динамического воздействия вагонов, приведена упрощенная модель. Обосно-

вана необходимость изменения конструкции автосцепного устройства грузовых вагонов путем применения двух последовательно расположенных блоков с рабочими элементами, а также улучшения свойств рабочего материала поглощающих аппаратов, особенно в условиях работы в широком диапазоне температур.

Ключевые слова: грузовой вагон, устройство, автосцепка СА-3, поглощающий аппарат, хребтовая балка, сохранность, перевозка, груз.

Ссылка для цитирования:

Филиппов В.Н. Проблемы и методы совершенствования автосцепного устройства грузовых вагонов с учетом особенностей эксплуатации / В.Н. Филиппов, И.К. Сергеев, А.В. Пищик, Н.М. Курзина // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 5. – С. 56-61. doi: 10.30987/2782-5957-2024-5-56-61.

Original article
Open Access Article

PROBLEMS AND METHODS TO IMPROVE AUTOMATIC COUPLING DEVICE OF FREIGHT CARS, TAKING INTO ACCOUNT THE PECULIARITIES OF THEIR OPERATION

Viktor Nikolaevich Filippov^{1✉}, Ivan Konstantinovich Sergeev², Aleksandr Vsevolodovich Pishchik³, Nadezhda Mikhailovna Kurzina⁴

¹ Moscow, Russia

^{2,3,4} Russian University of Transport, Moscow, Russia

¹ filipovvn@gmail.com

² sergeev.workmail@yandex.ru

³ alexander.p96@mail.ru

⁴ kurzina.nadia@gmail.com

Abstract

The problems to operate the automatic coupling device are considered, taking into account significant changes in the operating conditions of freight cars. The operation experience of freight car automatic coupling devices of domestic railways and the United States of America is analyzed; common problematic issues are identified. Approaches to the study of modes of longitudinal-dynamic impact of cars are defined, a simplified model is given. There is a need to change the de-

sign of the automatic coupling device of freight cars by using two sequentially arranged blocks with working elements, as well as improving the properties of the working material of absorbing devices, especially in operating conditions over a wide temperature range.

Keywords: freight car, device, automatic coupling CA-3, shock absorbing device, center sill, safety, transportation, cargo.

Reference for citing:

Filippov VN, Sergeev IK, Pishchik AV, Kurzina NM. Problems and methods to improve automatic coupling device of freight cars, taking into account the peculiarities of their operation. Transport Engineering. 2024;5:56-61. doi: 10.30987/2782-5957-2024-5-56-61.

Перевод железных дорог на автоцепное устройство позволил существенно повысить производительность труда на железнодорожном транспорте при выполнении маневровых операций с использованием сортировочных горок (горочных комплексов). При этом, с момента создания автоцепок СА-3 в середине 30-х годов прошлого века произошли существенные изменения условий эксплуатации грузовых вагонов за счет применения колесных пар с роликовыми буксовыми узлами, увеличения длины станционных путей для накопления более 100 вагонов, а также увеличения массы брутто грузовых вагонов.

Перевод вагонов на колесные пары с роликовыми буксовыми узлами существенно снизил сопротивление качению в подгорочном парке, что в свою очередь привело к увеличению скоростей движения грузовых вагонов примерно в 2 раза по сравнению со скоростями, регламентированными Правилами технической эксплуатации железных дорог. Осевые нагрузки и масса брутто увеличились с 17-18 до 23...25,5 тс, что привело к увеличению массы брутто на 10...15 тонн. Вместе с тем, для поглощения кинетической энергии фактически остались неизменными габаритные размеры карманов ударнопоглощающих устройств, а ход изменился с 70 до 110 (120) мм. Это привело к тому, что усилия, возникающие при соударении грузовых вагонов, как в подгорочном парке, так и при ведении длинносоставных поездов составили 250...350 тс. Данное обстоятельство обязало обратить внимание на необходимость существенного увеличения несущей способности грузовых вагонов, путем применения усиленных профилей металлопроката.

Проектирование автоцепного устройства (включая ударнопоглощающие устройства), по существу, производилось на основании опыта железных дорог Соединенных Штатов Америки (США), на базе некоторых вагоностроительных предприятий, включая Уралвагонзавод.

Увеличение скоростей соударения вагонов в подгорочном парке и веса поездов потребовали решения задач, связанных с повышением энергоемкости поглощающих аппаратов автоцепного устройства и проблем, связанных с выжиманием и смещением грузов на открытом подвижном составе.

Проблемы, возникшие на отечественных железных дорогах, в определенной степени аналогичны проблемам, которые возникали на железных дорогах США. Так, на американских железных дорогах, получил распространение вагон с мощными торцевыми ограничителями, предотвращающими смещение грузов при продольных динамических воздействиях [1].

Для снижения продольных динамических усилий на железных дорогах США начали разрабатывать автоцепные устройства с увеличенной длиной хвостовика. Получили распространение поглощающие устройства с увеличенным рабочим ходом [1].

Приведенный выше вариант поглощающего аппарата, применяемый на железных дорогах США, может быть реализован только при условии изменения конструкции консольной части рамы вагона. Кроме того, необходимо изменить конструкцию хвостовика автоцепки и обеспечить сцепляемость вагонов. Для обеспечения сцепляемости целесообразно разрабатывать центрирующие устройства, обеспечивающие рациональное размещение головной части автоцепки относительно продольной оси пути.

Вместе с тем, применения указанных мер, с учетом обеспечения сохранности перевозки особо ценных грузов на железных дорогах США, оказалось недостаточным, что привело к необходимости разработки вагонов с плавающими хребтовыми балками.

На отечественных железных дорогах основной упор в совершенствовании конструкции автоцепного устройства делался на увеличение энергоемкости поглощающих аппаратов при почти неизменном значении рабочего хода. Наиболее эффектив-

ными аппаратами, которые были разработаны в Московском институте инженеров железнодорожного транспорта (в настоящее время – РУТ (МИИТ)) являются гидрогазовые поглощающие аппараты ГА-100М и ГА-500. Такие аппараты прошли все виды стендовых и поездных испытаний, включая эксплуатацию в поездах весом более 10000 тонн. Однако для изготовления таких поглощающих аппаратов необходимо было применять высокопрочные марки стали и весьма «тонкие» технологические процессы, что оказалось недоступным для предприятий, входящих в структуру Министерства транспортного машиностроения СССР. Это обстоятельство, по существу, привело к сворачиванию работ по весьма перспективному направлению развития железнодорожного транспортного машиностроения.

Применявшиеся до 90-х годов прошлого века пружинно-фрикционные поглощающие аппараты и автосцепки на отечественных железных дорогах не могли в полной мере обеспечить низкие динамические усилия при соударении грузовых вагонов и некоторые другие факторы, которые связаны с особенностями эксплуатации порожних и малозагруженных вагонов [2]. В этой связи, для обеспечения безопасной перевозки опасных грузов были начаты работы по применению защитных экранов торцевой части вагонов-цистерн, исключающие пробои выжатым вагоном [3]. Одновременно разработаны предохранители от саморасцепа автосцепок. Параллельно были начаты работы по созданию поглощающего аппарата автосцепного устройства с применением в качестве рабочего тела эластомера, в том числе, для некоторых поглощающих аппаратов – резины [4].

Для исследования режимов продольно-динамического воздействия вагонов обычно применяется упрощенная модель, представляющая собой сочетание двух твердых масс, соединенных упругим элементом, которая должна обладать упруго-диссипативными свойствами [5].

В целях обеспечения сохранности некоторых видов груза на отечественных железных дорогах были разработаны и испытаны вагоны с плавающими хребтовыми балками [6]. Следует отметить, что применение плавающих хребтовых балок не мо-

жет решить задачу многорежимного ударно-поглощающего устройства при сохранении неизменной конструкции консольной части серийного вагона. Наиболее кардинальным вариантом решения данной задачи является применение длинной консоли. В этом случае может быть конструктивно предусмотрено применение нескольких наиболее простых поглощающих аппаратов, увеличение хода поглощающего аппарата до 200 мм, а также применение направляющего устройства. Направляющие устройства автосцепного устройства внедрялись на некоторых типах 8-осных вагонов и 4-осных вагонов-платформ. Для исследования динамических процессов соударения вагонов со сдвоенными поглощающими аппаратами может быть применена модель, показанная на рис. 1 ($M_{1,2}$ – массы корпусов поглощающих аппаратов).

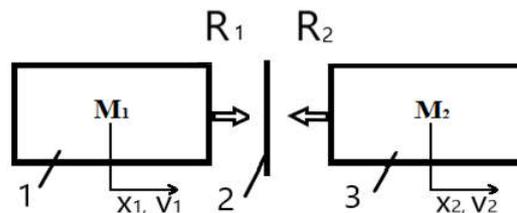


Рис. 1. Расчетная модель со сдвоенными поглощающими аппаратами: 1 – поглощающий аппарат №1; 2 – промежуточная масса (нажимной элемент поглощающего аппарата №2); 3 – поглощающий аппарат №2

Fig. 1. Calculation model with dual absorbing devices: 1 – absorbing device No. 1; 2 – intermediate mass (pressure element of absorbing device No. 2); 3 – absorbing device No. 2

Пренебрегая массой нажимного элемента поглощающего аппарата №2, а также допуская, что скорость изменяется пропорционально величине деформации, можно получить систему уравнений, применимую для численного интегрирования:

$$\begin{cases} R_1(\Delta x_1, \Delta v_1) = R_2(\Delta x_2, \Delta v_2) \\ \Delta x_1 + \Delta x_2 = x_2 - x_1 \\ \Delta v_1 + \Delta v_2 = v_2 - v_1 \\ \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1} = \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} \end{cases}, \quad (1)$$

где $R_{1,2}$ – реакции в первом и втором поглощающем аппарате соответственно; $\Delta x_{1,2}$ – величина деформации первого и второго поглощающего аппарата соответственно; $\Delta v_{1,2}$ – величина скорости деформации первого и второго поглоща-

ющего аппарата соответственно; $x_{1,2}$ – величина перемещения первого и второго поглощающего аппарата соответственно; $v_{1,2}$ – величина скорости перемещения первого и второго поглощающего аппарата соответственно.

Для расчёта реакций $R_{1,2}$ в межвагонном соединении может быть использован накопленный опыт кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ (МИИТ) и модели, применяемые для моделирования различных типов аппаратов [7]. Стоит отметить, что для моделирования подобных элементов также могут быть использованы некоторые расчётные схемы, разработанные профессором А.П. Болдыревым [8].

Применение на отечественных железных дорогах эластомерных элементов в поглощающих аппаратах позволило улучшить продольную динамику как груженых, так и порожних и малозагруженных вагонов при положительных и слабо отрицательных температурах окружающей среды. Однако, расширение полигона курсирования вагонов с эластомерными поглощающими аппаратами, в том числе в регионах с устойчивыми низкими температурами в зимний период, достигающими $-40...-60$ °С, выявило снижение упруго-диссипативных свойств ударно-поглощающего устройства. Опыт эксплуатации некоторых вариантов эластомерных поглощающих аппаратов показал их нестабильную работоспособность, что привело к повреждению достаточно большой группы вагонов-цистерн, построенных одним из отечественных заводов, в первую же зиму. Неспособность поглощать ударную кинетическую энергию при низких температурах приводит как правило к обрыву хребтовых балок.

Зависимость силовых характеристик поглощающего аппарата грузовых вагонов ПМКП-110 с твердым рабочим телом из материала *Durel* от температуры экспериментально подтверждена сотрудниками Брянского государственного технического университета [9].

В связи с чем для стабильной работы ударно-поглощающего устройств необходим рациональный выбор эластомерного материала, способного эффек-

тивно поглощать кинетическую энергию удара при различных температурных воздействиях.

С этой целью в настоящей работе проведены экспериментальные исследования двух типов полимерных демпфирующих материалов: морозостойкого резинового композита с добавкой противостарителя – сэвилена и термопластичного блок-сополимера из полиуретана и поливинилхлорида. В качестве образцов использовали пластины толщиной 33 мм из данных материалов, которые собирают в комплект поглощающего аппарата Р-5П.

Определение силовых характеристик осуществляли на испытательной машине со встроенной температурной камерой, поддерживающей температуру с погрешностью ± 2 °С. Образцы выдерживали при заданной температуре в течение 30 ± 2 мин и снимали характеристики, не вынимая их из камеры, что значительно повысило точность полученных результатов.

Анализ результатов показал, что перемещение, соответствующее рабочему ходу одного элемента резинового композита (рис. 2) при понижении температуры до -20 °С уменьшается незначительно, на 0,19 мм, а при -40 °С – на 0,75 мм. Энергоемкость полимерного элемента снижается на 6,75 % при -40 °С по сравнению с энергоемкостью при нормальной температуре, что связано с началом кристаллизации полимерной матрицы. Материал начинает рассеивать энергию за счет внутреннего трения, связанного с понижением конформационной гибкости звеньев макромолекул.

Отмечено значительное повышение жесткости термопластичного блок-сополимера при -40 °С (рис. 3). При этом перемещение (рабочий ход элемента) уменьшился с 4,8 мм при -23 °С до 1,12 мм при -40 °С, а энергоемкость – на 77 %. Следовательно, при температуре -40 °С происходит полная кристаллизация полимерной матрицы, материал практически перестает поглощать кинетическую энергию и работает, как твердое тело.

Таким образом, материал из термопластичного блок-сополимера при положительных температурах лучше рассеивает кинетическую энергию удара, чем

резиновый композит, а при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ – практически полностью утрачивает свои демпфирующие свойства, поэтому не

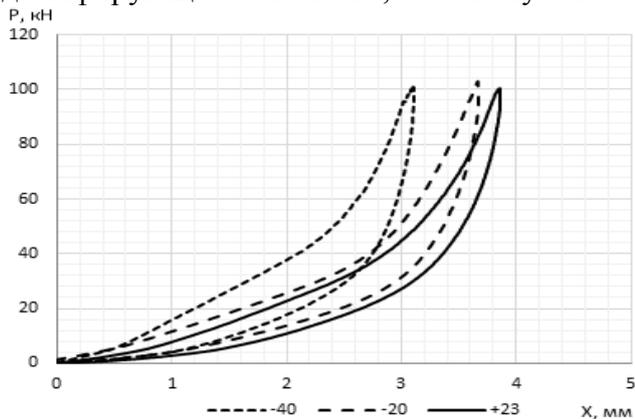


Рис. 2. Силовая характеристика предполагаемого элемента поглощающего аппарата Р-5П из резинового композита при нормальных и низких температурах
 Fig. 2. Power characteristic of the proposed element of the absorbing apparatus R-5P made of rubber composite at normal and low temperatures

Также было установлено, что динамические гистерезисы полимерных материалов при температурах $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ практически идентичны. Однако, при температуре $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ они начинают упруго работать только после дополнительного сжатия, что увеличивает нагрузку на поперечные связи и может быть причиной преждевременного старения, что влияет на долговечности поглощающего аппарата. Следовательно, для моделирования поглощающего аппарата необходимо оценить силовые характеристики при различных температурных воздействиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Car and Locomotive Cyclopedia of American Practice. 2nd edition by C.L. Combes (Editor). New York, Simmons-Boardman Publication Corporation, 1970, 1074 p. ISBN-10 1122559348, ISBN-13 978-1122559348.
2. Оценка опасности выжимания порожних вагонов при маневровых соударениях и переходных режимах движения в тяжеловесных поездах / Г. И. Петров, В. Н. Филиппов, Н. М. Курзина, И. К. Сергеев // Мир транспорта. 2022. Т. 20, № 1(98). С. 50-58.
3. Патент РФ (11) №2038241 Железнодорожная цистерна [Текст] / В.Н. Филиппов и др. – В61D 5/00, 1995.

может быть применен в качестве рабочего тела поглощающих аппаратов.

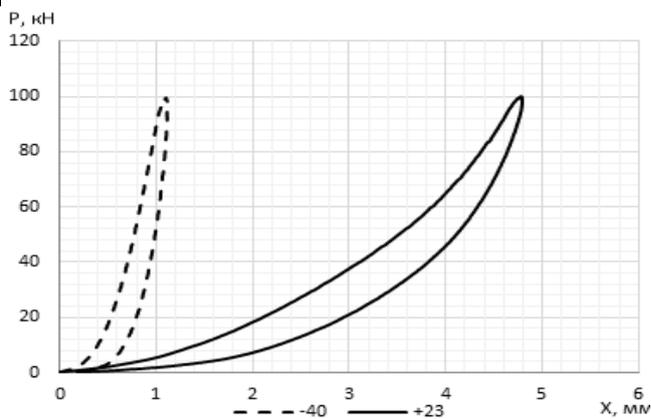


Рис. 3. Силовая характеристика предполагаемого элемента поглощающего аппарата Р-5П из термопластичного блок-сополимера при нормальных и низких температурах
 Fig. 3. Power characteristic of the proposed element of the R-5P absorbing apparatus made of a thermoplastic block copolymer at normal and low temperatures

Подводя итоги, хочется подчеркнуть, что узел автосцепного устройства современных вагонов нуждается в модернизации. Одним из способов решения данной задачи является совершенствование конструкций поглощающих аппаратов путем внесения изменений в их конфигурацию, к примеру, разработка аппаратов, состоящих из двух последовательно расположенных блоков с рабочими элементами, а также улучшение свойств рабочего материала аппаратов, особенно в условиях работы в широком диапазоне температур.

4. Патент РФ (11) №2296072 Поглощающий аппарат [Текст] / В.Н. Филиппов и др. – В61G 9/06, В61G 11/08, 2005.
5. Вершинский, С.В. Динамика вагонов [Текст]/ С.В. Вершинский, В.Н.Данилов, В.Д. Хусидов. Москва: Транспорт, 1991. 360 с.
6. Патент РФ (11) №2326013 Железнодорожное транспортное средство [Текст] / А.И. Василенко и др. – МПК В61D 3/00, В61D 17/00, В61F 1/02, В61F 19/04, 2006.
7. Исследование аварийных режимов маневрового соударения сцепов вагонов / Г. И. Петров, С. В. Беспалько, И. К. Сергеев, Н. М. Курзина // Наука и техника транспорта. 2022. № 4. С. 37-43.

8. Болдырев, А.П. Научные основы совершенствования поглощающих аппаратов автосцепки [Текст]: дисс... д-ра.техн. наук / А.П. Болдырев. Брянск, 2006. – 360 с.

9. Кравцов, С.А. Расчетно-экспериментальная оценка характеристик полимерных элементов / С.А. Кравцов, А.П. Болдырев, Ф.Ю. Лозбинец. - Известия Петербургского университета путей сообщения. 2023. Т. 20. № 1. С. 7-16.

REFERENCES

1. Combes CL, editor. Car and locomotive cyclopedia of American practice. 2nd ed. New York: Simmons-Boardman Publication Corporation; 1970.
2. Petrov GI, Filippov VN, Kurzina NM, Sergeev IK. Evaluation of the danger of wheel lift for empty cars in heavy trains during shunting collisions and transient modes of movement. World of Transport. 2022;20(1(98)):50-58.
3. Filippov VN. RF Patent No.2038241. B61D 5/00. Railway tank. 1995.
4. Filippov VN. RF Patent No.2296072. B61G 9/06, B61G 11/08. Shock absorbing device. 2005.
5. Vershinsky SV, Danilov VN, Khusidov VD. Dynamics of cars. Moscow: Transport; 1991.

6. Vasilenko AI. RF Patent No.2326013. МПК В61D 3/00, В61D 17/00, В61F 1/02, В61F 19/04. Railway vehicle. 2006.
7. Petrov GI, Bepalko SV, Sergeev IK, Kurzina NM. Emergency mode investigation of shunting collision of car couplings. Science and Technology in Transport. 2022;4:37-43.
8. Boldyrev AP. Scientific bases of improving shock absorbing devices of automatic coupling [dissertation]. [Bryansk (RF)]: Bryansk State Technical University; 2006.
9. Kravtsov SA, Boldyrev AP, Lozbinev FYu. Computational and experimental evaluation of the characteristics of polymer elements. Proceedings of Petersburg Transport University. 2023;20(1):7-16.

Информация об авторах:

Филиппов Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, почетный железнодорожник, тел. +7 (985) 975-64-45.

Сергеев Иван Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ (МИИТ), тел. +7 (963) 638-96-82.

Пищик Александр Всеволодович – прикрепленный для подготовки диссертации на соискание уче-

ной степени кандидата наук без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ (МИИТ), тел. +7 (916) 438-61-03.

Курзина Надежда Михайловна – аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ (МИИТ), тел. +7 (929) 619-13-88.

Filippov Viktor Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Railwayman; phone: +7 (985) 975-64-45.

Sergeyev Ivan Konstantinovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cars and Car Facilities, RUT (MIIT); phone: +7 (963) 638-96-82.

Pishchik Aleksandr Vsevolodovich – Competitor of the Department of Cars and Car Facilities at Russian University of Transport (MIIT); phone: +7 (916) 438-61-03.

Kurzina Nadezhda Mikhailovna – Associate Professor of the Department of Cars and Car Facilities at RUT (MIIT); phone: +7 (929) 619-13-88.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 01.03.2024; одобрена после рецензирования 15.04.2024; принята к публикации 26.04.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 01.03.2024; approved after review on 15.04.2024; accepted for publication on 26.04.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.