

УДК 629.4.014.7

Дифференцирование спектров эксплуатационных нагрузок при ресурсных испытаниях поглощающих аппаратов инновационных вагонов

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

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

² АО «НВЦ «Вагоны», Россия, 190013, Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Семеновский, Московский пр., 22, литера М, эт. 1, пом. 5Н

Для цитирования: Комайданов А. А., Зверев М. В., Смирнов А. Н. Дифференцирование спектров эксплуатационных нагрузок при ресурсных испытаниях поглощающих аппаратов инновационных вагонов // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 2. С. 75–85. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-02-75-85

Аннотация

Цель: разработка методики определения поправочного коэффициента, с учетом которого планируется пересчет количества введенной энергии при испытании поглощающих аппаратов на ресурс и снижение спектра продольных нагрузок, воспринимаемых вагоном при соударениях в зависимости от класса поглощающих аппаратов, установленных на вагоне. **Практическая значимость:** применение поправочного коэффициента обеспечит дифференцированный подход к определению суммарного накопленного повреждения при испытаниях вагонов на ресурс при соударении и к дифференцированию количества введенной энергии при проведении испытаний поглощающих аппаратов на ресурс.

Ключевые слова: инновационный подвижной состав, испытания вагонов, спектр нагрузок, поглощающий аппарат, соударение вагонов, ресурс вагона.

Введение

Как известно, максимальные продольные нагрузки при эксплуатации вагонов возникают на сортировочных горках. Эти нагрузки в первую очередь воспринимают автосцепные устройства, а следовательно, поглощающие аппараты, которые расположены за хвостовиком автосцепки [1–2]. В работах [3–4] рассматривалось применение поглощающих аппаратов класса не ниже Т2 как один из вариантов снижения продольных усилий, возникающих при соударении вагонов, которые приходится прежде всего на раму вагона. Также рассматривался вопрос снижения применяемого в настоящее время нормативного спектра распределения нагрузок, который учитывается при проектировании и расчете вагонов на прочность, а также при испытаниях вагонов и определении оптимального значения коэффициента запаса сопротивления усталости в соответствии с нормативными документами [5]. Однако вопрос «На какую долю должен быть понижен нормативный спектр нагрузок в зависимости от использования того или иного поглощающего аппарата на вагоне?» не рассматривался.

ГОСТ 32913 устанавливает следующие требования к испытаниям поглощающих аппаратов на ресурс: количество введенной энергии при испытании поглощающих аппаратов на ресурс должно составлять не менее 250 МДж, при этом, помимо образования трещин и изломов, предельным состоянием считается снижение энергоемкости аппарата не менее чем на 30% при максимальном значении силы соударения от исходного значения энергоемкости аппарата [6–7].

Таким образом, возникает еще один вопрос: если снижается нормативный спектр нагрузок, действующих на вагон, то почему при испытаниях поглощающих аппаратов на ресурс значение количества введенной энергии для поглощающего аппарата остается неизменным и никак не зависит от его класса?

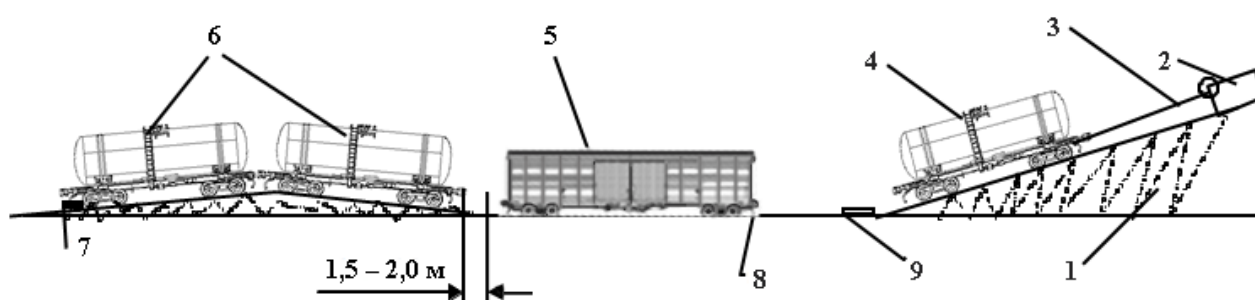
Постановка задачи

Основной целью данной работы является разработка методики определения поправочного коэффициента, при помощи которого будет производиться пересчет, с одной стороны, количества введенной энергии при испытании поглощающих аппаратов на ресурс, с другой — снижение спектра продольных нагрузок, воспринимаемых вагоном при соударениях, так же в зависимости от класса применяемого на вагоне поглощающего аппарата.

Решение

Для достижения поставленной цели определения поправочного коэффициента были проведены соударения вагонов с исследуемыми поглощающими аппаратами.

Соударения вагонов производились по схеме, представленной на рис. 1.



- 1 — стенд-горка; 2 — лебедка; 3 — трос лебедки; 4 — вагон-бойка;
 5 — вагон с исследуемым поглощающим аппаратом; 6 — вагоны-упор;
 7 — башмак тормозной; 8 — тензометрическая автосцепка;
 9 — устройство измерения скорости набегания вагона-бойка

Рис. 1. Схема соударения вагонов при проведении испытаний поглощающих аппаратов на ресурс

Соударения производились при помощи стенда-горки (1), на котором установлена лебедка (2) с тросом (3), с помощью которой вагон-боек (4) затягивался на горку. За вагоном (5), на котором поочередно устанавливались исследуемые поглощающие аппараты, размещались так называемые вагоны-упоры (6) в загруженном сыпучим грузом состоянии, которые дополнительно закреплялись тормозными башмаками со стороны удара. Устройство измерения скорости (9) представляет собой установленный на шейку рельса тензометрический датчик, который фиксирует, в какой момент времени проезжали колесные пары тележки вагона-бойка, после чего с использованием этих данных рассчитывается скорость соударения. Сила соударений фиксировалась при помощи тензометрической автосцепки (8), которая представляет собой классическую автосцепку СА-3 с установленной на ней тензометрической схемой для регистрации силы соударения (рис. 2). После каждого соударения между вагоном, на котором установлены исследуемые поглощающие аппараты, и вагоном-бойком обеспечивался зазор в соответствии с требованиями ГОСТ 34450 [8].

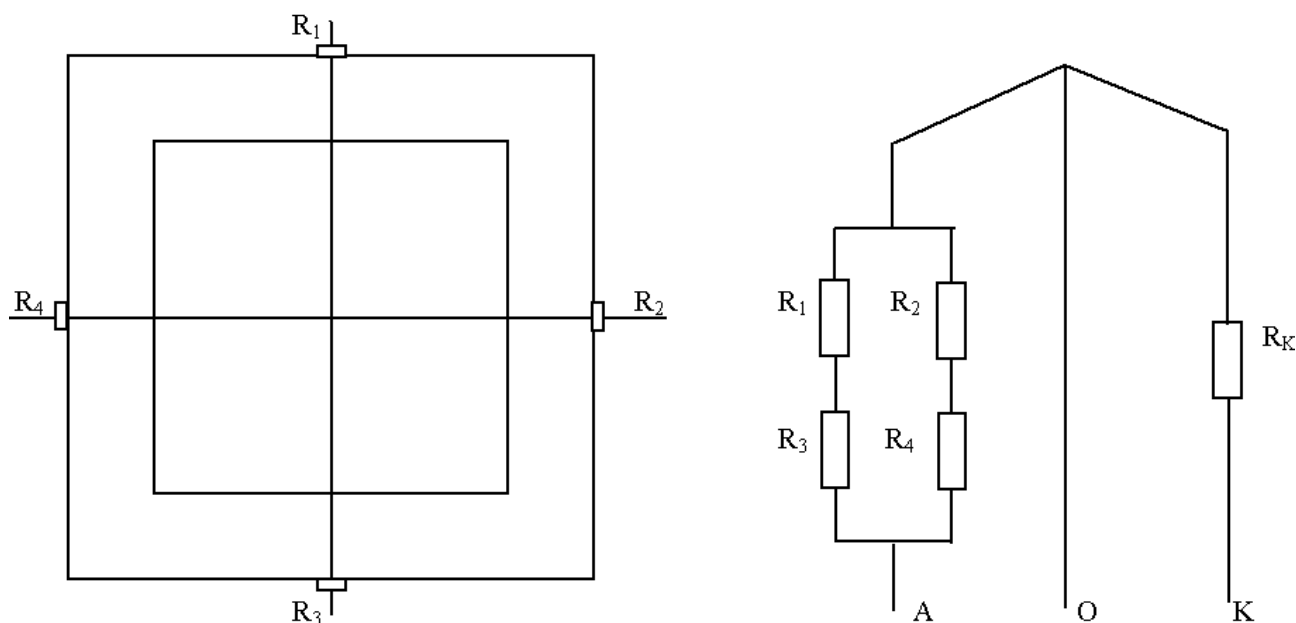


Рис. 2. Схема установки и соединения тензорезисторов на хвостовике-автосцепке для измерения продольных сил при соударении

При проведении соударений кинетическая энергия удара расходуется на три составляющие:

- работа поглощающего аппарата вагона-бойка;
- работа поглощающего аппарата вагона с исследуемыми поглощающими аппаратами;
- работа по перемещению (смещению) вагонов.

Величина энергетических затрат на работу поглощающего аппарата вагона-бойка и перемещение вагонов в данной работе не оценивались.

В соответствии с пунктом 4 приложения Л ГОСТ 34450 вагон-боек должен быть оборудован поглощающими аппаратами класса Т1. В связи с этим было принято решение проводить соударения в три этапа, а именно:

- исследуемый вагон оборудован поглощающими аппаратами класса Т1, вагон-боек — класса Т1;
- исследуемый вагон оборудован поглощающими аппаратами класса Т2, вагон-боек — класса Т1;
- исследуемый вагон оборудован поглощающими аппаратами класса Т3, вагон-боек — класса Т1.

Результаты испытаний для различных классов поглощающих аппаратов представлены в табл. 1–3.

ТАБЛИЦА 1. Результаты испытаний поглощающего аппарата класса Т1

Сила соударения, МН	Введенная энергия, кДж	Скорость соударения, км/ч
0,45	16	3,8
0,62	30	5,2
0,67	21	5,2
0,82	37	6,4
0,86	50	7,6
0,96	65	8,2
1,03	44	7,4
1,06	77	8,4
1,32	87	9,7
1,39	108	11,1
1,47	105	11,3
1,5	71	8,6
1,61	97	10,8
1,67	85	9,5
1,73	117	12,4
1,78	94	10,5
1,85	115	12,5
1,96	106	11,6
2,01	100	11,2
2,05	82	10,8
2,16	115	12,6
2,41	116	12,8
2,64	122	14,2

ТАБЛИЦА 2. Результаты испытаний поглощающего аппарата класса Т2

Сила соударения, МН	Введенная энергия, кДж	Скорость соударения, км/ч
0,99	21,63	3,78
1,15	32,28	5,20
1,20	30,93	4,59
1,29	38,99	5,29
1,30	39,00	5,05
1,40	41,16	5,46
1,51	50,50	6,22
1,73	69,07	7,01
1,77	73,05	7,79
1,79	73,56	7,66
1,96	101,50	8,12
2,15	107,76	9,16
2,45	143,74	9,94
2,45	130,31	10,41
2,53	151,71	10,57
2,57	159,28	12,11
2,60	163,54	12,33
2,89	190,97	13,59
3,04	196,78	13,88
3,10	209,06	13,99

ТАБЛИЦА 3. Результаты испытаний поглощающего аппарата класса Т3

Сила соударения, МН	Введенная энергия, кДж	Скорость соударения, км/ч
0,9	57,24	4,0
0,9	64,37	5,6
1,1	81,78	6,5
1,2	103,87	7,7
1,7	144,24	9,5
1,8	148,27	9,0
1,9	157,79	10,9
2,1	178,35	12,0
2,2	198,67	12,9
2,4	213,63	13,3
2,4	208,41	11,3
2,5	217,56	13,8

После получения результатов соударений были построены графики зависимости силы соударения от скорости набегания вагона-бойка и вагона с исследуемыми поглощающими аппаратами (рис. 3).

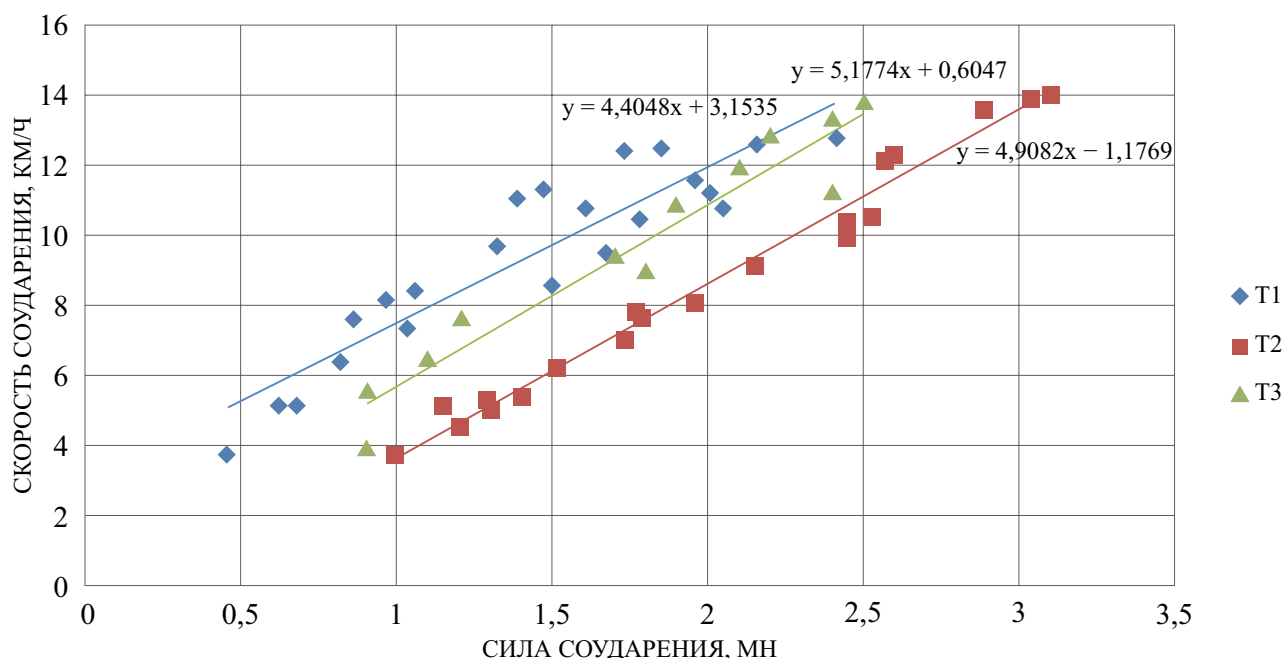


Рис. 3. Зависимости силы соударения от скорости набегания вагона-бойка и вагона с исследуемыми поглощающими аппаратами

После построения графиков были получены уравнения и коэффициенты угла наклона для каждого исследуемого поглощающего аппарата.

Как уже было сказано ранее, ресурс поглощающих аппаратов по количеству введенной энергии должен составлять не менее 250 МДж в соответствии с ГОСТ 32913. Однако при проведении испытаний поглощающих аппаратов на ресурс фраза «не менее 250 МДж» воспринимается как необходимое и достаточное значение, при достижении которого испытания завершаются вне зависимости от класса поглощающего аппарата.

Проанализировав рис. 3, можно заметить, что линейризованные зависимости силы соударения от скорости набегания вагона-бойка значительно отличаются в зависимости от класса поглощающего аппарата, в то время как спектр кинетической энергии сбрасывания с горок вагонов остается неизменным. Таким образом возникают два вопроса: почему поглощающие аппараты различного класса с разными значениями энергоемкости испытываются одинаково? Почему для вагонов, на которых установлены поглощающие аппараты класса Т2 и Т3, используется тот же спектр распределения нагрузок, что и для вагонов, на которых установлены поглощающие аппараты класса Т1?

Испытания поглощающих аппаратов на ресурс

Для решения первого вопроса предлагается ввести поправочные коэффициенты, с помощью которых будет производиться пересчет количества введенной энергии при проведении испытаний поглощающих аппаратов на ресурс, в зависимости от класса последних.

Поправочный коэффициент k_n для поглощающего аппарата определенного класса рассчитывается по формуле (1):

$$k_n = \frac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\operatorname{tg}\alpha_{T1}}, \quad (1)$$

где n — класс исследуемого поглощающего аппарата;

$\operatorname{tg}\alpha_n$ — тангенс угла наклона из уравнения линеаризованной зависимости силы соударения от скорости набегания вагона-бойка исследуемого поглощающего аппарата;

$\operatorname{tg}\alpha_{T1}$ — тангенс угла наклона из уравнения линеаризованной зависимости силы соударения от скорости набегания вагона-бойка поглощающего аппарата класса T1.

Тогда количество введенной энергии $\Sigma Э$ при испытании поглощающих аппаратов на ресурс определяется по формуле (2):

$$\Sigma Э = 250k_n. \quad (2)$$

Результаты расчета поправочных коэффициентов k_n и количества введенной энергии $\Sigma Э$ представлены в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. Результаты расчета

Класс поглощающего аппарата	Угол наклона	k_n	$\Sigma Э$, МДж
T1	4,4048	1,00	250,00
T2	4,9082	1,11	277,50
T3	5,1774	1,18	295,00

Испытания вагонов на прочность и ресурс при соударениях

Касаемо спектра распределения нормативных нагрузок при проведении испытаний грузовых вагонов на прочность и ресурс при соударении: необходимо понижение спектра распределения нормативных нагрузок в зависимости от класса применяемых на вагоне поглощающих аппаратов.

Попытки снижения продольных нагрузок при проведении испытаний грузовых вагонов на прочность при соударении были предприняты разработкой и введением в действие ГОСТ 33211 [9–10], в соответствии с которым максимальное

значение продольной силы при проведении испытаний на прочность при соударении принимает 3,5 МН для вагонов, оборудованных поглощающими аппаратами Т1 и 2,5 МН для вагонов, оборудованных поглощающими аппаратами Т2 или Т3.

Таким образом, применение поглощающего аппарата класса Т3, который имеет большее значение энергоемкости, чем поглощающий аппарат класса Т2, становится бессмысленным с точки зрения снижения продольной силы.

Однако ввиду одновременного действия двух нормативных документов — нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) (далее — «Нормы...») [11] и ГОСТ 33211 — при проведении испытаний вагонов на прочность при соударении максимальное значение продольной силы принимают равной 3,5 МН вне зависимости от класса поглощающих аппаратов, установленных на испытуемом вагоне.

Также класс применяемых на вагоне поглощающих аппаратов никак не влияет на распределение ударных сил при проведении испытаний вагонов на ресурс. В связи с этим предлагается использовать ранее представленный поправочный коэффициент k_n для пересчета расчетного числа соударений за один год эксплуатации вагона.

$$N_{удн} = \frac{N_{уд}}{k_n}, \quad (3)$$

где $N_{удн}$ — расчетное число соударений за один год эксплуатации вагона с учетом поправочного коэффициента k_n ;

$N_{уд}$ — расчетное число соударений за один год эксплуатации вагона.

Заключение

Предложенная методика определения поправочного коэффициента позволяет:

– выполнить дифференцирование количества введенной энергии при проведении испытаний поглощающих аппаратов на ресурс, в зависимости от класса установленных на вагон поглощающих аппаратов;

– выполнить дифференцирование распределения ударных сил, суммарного накопленного повреждения при проведении испытаний вагонов на ресурс.

На наш взгляд, необходим пересмотр действующих нормативных документов в части актуальности и целесообразности применения «Норм...» по настоящее время как одного из документов, в соответствии с которым проводят испытания грузовых вагонов. Также необходимо при помощи поправочного коэффициента провести дифференцирование количества введенной энергии при проведении испытаний поглощающих аппаратов на ресурс с целью установления своего значения для каждого из классов поглощающих аппаратов.

Кроме того, применение поправочного коэффициента обеспечит более точный расчет числа соударений за один год эксплуатации вагона и расчетного

числа действия сил соударений, значения которых используются для определения суммарного накопленного повреждения при испытаниях вагонов на ресурс при соударении.

Библиографический список

1. Васильев А. С., Болдырев А. П., Кеглин Б. Г. и др. Исследование продольной нагруженности грузовых вагонов, оснащенных фрикционными поглощающими аппаратами нового исполнения, при переходных режимах движения поезда // Транспортное машиностроение. 2014. № 1(41).
2. Габец А. В., Марков А. М., Габец Д. А. и др. Проектирование эффективной конструкции поглощающего аппарата // ИВД. 2017. № 2(45).
3. Комайданов А. А., Смирнов А. Н., Зверев М. В. Проблематика оценки ресурса и усталостной прочности при постановке на производство инновационного подвижного состава // БРНИ. 2023. № 4.
4. Сенько В. И., Макеев С. В., Комиссаров В. В. и др. Особенности определения коэффициента запаса сопротивления усталости конструкций подвижного состава // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2018. № 1(36). С. 5–9.
5. Сахаров П. А. Оценка влияния параметров силовых характеристик поглощающих аппаратов на силы между вагонами поезда // Известия Транссиба. 2019. № 3(39).
6. ГОСТ 32913-2014 «Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава». Технические требования и правила приемки (переиздание). Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019.
7. Котуранов В. А. Повышение энергоемкости поглощающих аппаратов грузовых вагонов // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2013. № 5(48).
8. ГОСТ 34450-2018 «Детали и сборочные единицы сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний». Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019.
9. ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам (с поправкой, с изменением № 1)». Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2020.
10. Воропай В. С. Расчетно-экспериментальный метод обоснования срока эксплуатации вагонов // Приазовский государственный технический университет. 2015. № 30.
11. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ГосНИИ-ВНИИЖТ. 1996 (с дополнениями и изменениями на момент разработки).

Дата поступления: 25.04.2024

Решение о публикации: 30.05.2024

Контактная информация:

КОМАЙДАНОВ Алексей Андреевич — аспирант; komaidanovnvc@yandex.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I)

ЗВЕРЕВ Михаил Владимирович — канд. техн. наук, доцент; zverev-nvc@yandex.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I)

СМИРНОВ Анатолий Николаевич — начальник испытательного центра; smirnovnvc@mail.ru (АО «НВЦ «Вагоны»)

Differentiation of spectra of operating loads during resource tests of draft devices of innovative cars

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

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

² JSC “NVC “Vagony”, int. ter. g. municipal district Semenovskiy, pr. Moskovskiy, 22, letter M, floor 1, room 5N, St. Petersburg, 190013, Russia

For citation: *Komaidanov A. A., Zverev M. V., Smirnov A. N.* Differentiation of spectra of operational loads during resource testing of draft gears of innovative cars // Bulletin of scientific research results. 2024, Iss. 2. P. 75–85. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-02-75-85

Abstract

Objective: development of a methodology for determining a correction factor, with the help of which the amount of introduced energy will be recalculated when testing draft gears for service life and reducing the range of longitudinal loads perceived by the car during collisions, depending on the class of draft gears installed on the car. **Practical significance:** the use of a correction factor will ensure a more accurate calculation of the number of collisions for one year of operation of a car and the estimated number of impact forces, the values of which are used to determine the total accumulated damage when testing cars for life in the event of a collision, and will also ensure differentiation of the amount of energy introduced when testing draft gears for life.

Keywords: innovative rolling stock, car testing, load spectrum, draft gear, car collision, car life.

References

1. Vasil'ev A. S., Boldyrev A. P., Keglin B. G. i dr. Issledovanie prodol'noj nagruzhennosti gruzovyh vagonov, osnashchennyh frikcionnymi pogloshchayushchimi apparatami novogo ispolneniya, pri perekhodnyh rezhimakh dvizheniya poezda // Transportnoe mashinostroenie. 2014. № 1(41). (In Russian)
2. Gabec A. V., Markov A. M., Gabec D. A. i dr. Proektirovanie effektivnoj konstrukcii pogloshchayushchego apparata // IVD. 2017. № 2(45). (In Russian)

3. Komajdanov A. A., Smirnov A. N., Zverev M. V. Problematika ocenki resursa i ustalostnoj prochnosti pri postanovke na proizvodstvo innovacionnogo podvizhnogo sostava // BRNI. 2023. № 4. (In Russian)
4. Sen'ko V. I., Makeev S. V., Komissarov V. V. i dr. Osobennosti opredeleniya koefficienta zapasa soprotivleniya ustalosti konstrukcij podvizhnogo sostava // Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport. 2018. № 1(36). S. 5–9. (In Russian)
5. Saharov P. A. Ocenka vliyaniya parametrov silovyh karakteristik pogloshchayushchih apparatov na sily mezhdv vagonami poezda // Izvestiya Transsiba. 2019. № 3 (39). (In Russian)
6. GOST 32913-2014 “Apparaty pogloshchayushchie scepnyh i avtoscepnyh ustrojstv zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava”. Tekhnicheskie trebovaniya i pravila priemki (pereizdanie). Oficial'noe izdanie. M.: Standartinform. 2019. (In Russian)
7. Koturanov V. A. Povyshenie energoemkosti pogloshchayushchih apparatov gruzovyh vagonov // Transport Rossijskoj Federacii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike. 2013. № 5(48). (In Russian)
8. GOST 34450-2018 “Detali i sborochnye edinicy scepnyh i avtoscepnyh ustrojstv zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Metody ispytaniy”. Oficial'noe izdanie. M.: Standartinform, 2019. (In Russian)
9. GOST 33211-2014 “Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam (s popravkoj, s izmeneniyem № 1)”. Oficial'noe izdanie. M.: Standartinform, 2020. (In Russian)
10. Voropaj V. S. Raschetno-eksperimental'nyj metod obosnovaniya sroka ekspluatatsii vagonov // Priazovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. 2015. № 30. (In Russian)
11. Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznovyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh). GosNII-VNII ZHT. 1996 (s dopolneniyami i izmeneniyami na moment razrabotki). (In Russian)

Received: 25.04.2024

Accepted: 30.05.2024

Author's information:

Aleksey A. KOMAIDANOV — Postgraduate Student; komaidanovnc@yandex.ru
(Emperor Alexander I Petersburg State Transport University)

Mikhail V. ZVEREV — PhD in Engineering, Associate Professor; zverev-nvc@yandex.ru
(Emperor Alexander I Petersburg State Transport University)

Anatoly N. SMIRNOV — Head of the testing center; smirnovnc@mail.ru (JSC “NEC “Vagony”)