



УДК 629.4.077-592

Уточненная методика испытаний стояночного тормоза грузовых вагонов

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

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

²АО «НВЦ «Вагоны», Российская Федерация, 190013, Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Семеновский, пр-кт Московский, 22, литера М, этаж 1, помещ. 5Н

Для цитирования: Зверев М. В., Комайданов А. А., Смирнов А. Н. Уточненная методика испытаний стояночного тормоза грузовых вагонов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 2. — С. 448–456. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-448-456

Аннотация

Цель: Описана уточненная методика испытаний стояночного тормоза грузовых вагонов, которая одновременно удовлетворяет требованиям двух нормативных документов: ГОСТ 26686—96, который устанавливает момент, приложенный к рукоятке (штурвалу) стояночного тормоза, не более 300 Н, при котором должно происходить удержание одиночного свободостоящего груженого вагона на уклоне не менее 30 %, и ГОСТ 34434—2018, который устанавливает расчетный (испытательный) момент силы, прикладываемый к штурвалу стояночного тормоза 100 Н · м. **Методы:** Производится поэтапная обработка результатов испытаний: первоначально определяются средние величины усилий прижатия и действительная сила нажатия на одну колодку. Затем рассчитываются коэффициент трения колодок о колесо и максимальный уклон пути, на котором железнодорожный подвижной состав удерживается стояночным тормозом. В основу решения поставленной задачи положен метод итерации, который необходимо применить дважды: на первом этапе с целью нахождения величины суммарной силы нажатия тормозных колодок от действия стояночного тормоза при учете максимального уклона пути, на котором железнодорожный состав удерживается стояночным тормозом, будет равен 30 %, после чего на втором этапе выбирается такое значение момента на валу привода стояночного тормоза, чтобы значение требуемой силы нажатия тормозных колодок от действия стояночного тормоза получилось таким же, как при максимальном уклоне пути $i_d = 30 \%$, после чего производится оценка полученных результатов и их сравнение с нормативными значениями. **Результаты:** Разработана уточненная методика испытаний стояночного тормоза грузовых вагонов. **Практическая значимость:** Применение данной методики позволит учитывать требования двух нормативных документов одновременно, предотвратив их противоречие.

Ключевые слова: Испытания вагонов, стояночный тормоз, удержание стояночным тормозом, тормозная рычажная передача, расчет тормоза вагона.

Введение

Ключевым вопросом при осуществлении перевозок грузов и пассажиров железнодорожным транспортом является обеспечение безопасности движения поездов. На обеспечение безопасности движения поездов направлен целый комплекс мер,

который включает в себя как нормативные документы, так и работу с персоналом, отвечающим за движение поездов. Пути совершенствования тормозных систем рассматривались в работах [1–6], но вопросы, связанные с испытаниями и работой стояночного тормоза, не были затронуты. Одним

из основных документов, который неразрывно связан с обеспечением безопасности на магистральных путях общего пользования, являются Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 23 июня 2022 г. № 250 (ПТЭ). Данный документ направлен на обеспечение взаимодействия между всеми структурами железных дорог, а также устанавливает требования к тормозному оборудованию единиц подвижного состава [7, 8].

На сегодняшний день в соответствии с ГОСТ 34434—2018 [9] грузовые вагоны должны быть оборудованы автоматическим пневматическим фрикционным тормозом и стояночным тормозом с ручным или автоматическим приводом. Допускается оборудование электропневматическим тормозом. ГОСТ 32880—2014 [10] устанавливает определение стояночного тормоза как устройство с ручным или автоматическим приводом, расположенное на единице железнодорожного подвижного состава и предназначенное для ее удержания на стоянке от самопроизвольного ухода, а также для принудительной аварийной остановки при наличии ручного или автоматического привода внутри единицы железнодорожного подвижного состава.

При разработке и проектировании новых вагонов и постановке их на производство возникает необходимость в проведении испытаний по проверке тормоза на вагоне.

Обзор нормативных документов, применяемых при проектировании вагонов

В настоящее время требования к стояночному тормозу содержатся как в отдельных руководящих документах, таких как ГОСТ 34434 [9], ГОСТ 32880—2014 [10] и ГОСТ 33597 [11], так и в государственных стандартах, относящихся к конкретным типам вагонов.

Рассмотрим государственные стандарты, относящиеся к определенному типу вагонов: ГОСТ 26725—97 [12] устанавливает требования

к четырехосным универсальным полувагонам. Пункт 4.13 содержит требования по установке рамы вагона, его боковых и торцевых стен, дверей, требования к оборудованию вагона тележками двухосными, ударно-тяговыми устройствами, автоматическим тормозом с соответствующими приборами торможения и информацию об обязательном оборудовании полувагонов стояночным тормозом.

К вагонам-цистернам также предъявляются требования в соответствии с ГОСТ 51659 [13], пункт 4.1.3 которого устанавливает обязательное оборудование вагонов-цистерн следующими основными узлами: котел, узлы крепления котла цистерны (фасонные лапы, лежни и их опоры, шпангоуты), платформа, ходовые части и автосцепные устройства, тормозная рычажная передача, включающая в себя стояночный тормоз. Кроме того, пункт 5.5 устанавливает усилие (не более 300 Н), прикладываемое к стояночному тормозу (штурвалу или рукоятке) вагона-цистерны, с целью его удержания на уклоне величиной 0,03.

В соответствии с ГОСТ 30.243.1 [14] и ГОСТ 5973 [15] вагоны бункерного типа и вагоны-думпкары по аналогии с цистернами и полувагонами оборудуются стояночным тормозом.

Рассмотренные ранее нормативные документы на определенный тип вагона говорят лишь о необходимости установки стояночного тормоза, но не предъявляют никаких требований к нему. В качестве основного документа при проектировании и расчете стояночного тормоза вагона используется ГОСТ 32880 [10], который устанавливает определение стояночного тормоза, как некоторое устройство с приводом, установленное на единице подвижного состава и предназначенное для предотвращения самопроизвольного ухода во время стоянки или для экстренной (аварийной) остановки единицы подвижного состава.

Таким образом, обобщая требования для всех грузовых вагонов в части стояночного тормоза, при разработке и проектировании новых единиц



Рис. 1. Общий вид испытуемого вагона-платформы

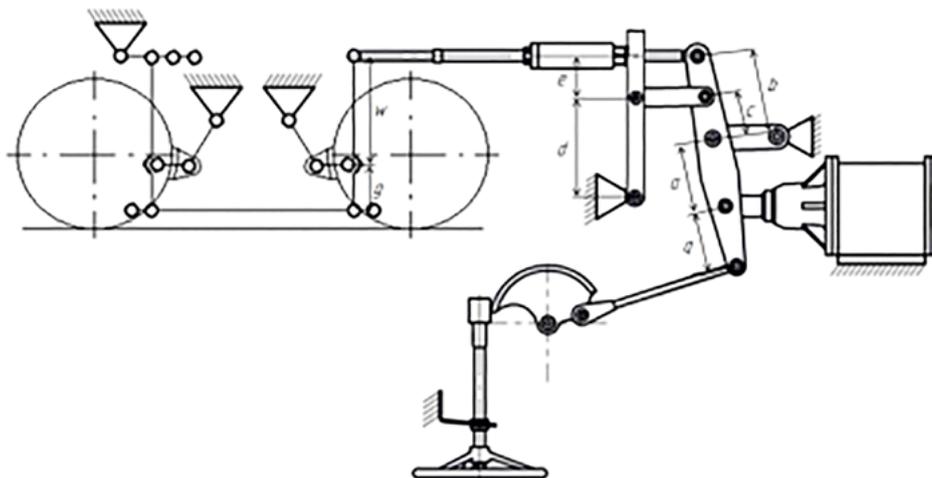


Рис. 2. Схема установленной тормозной рычажной передачи на вагоне

подвижного состава одновременно необходимо учитывать требования нескольких нормативных документов.

Постановка задачи

В качестве требований для расчета стояночного тормоза вагона-платформы и при проведении испытаний применяются следующие нормативные документы:

- ГОСТ 26686—96 [16] содержит требование к стояночному тормозу, который должен удерживать одиночный груженный вагон на уклоне 30 ‰, при этом затормаживание должно осуществляться усилием, приложенным к рукоятке (штурвалу), не более 300 Н. Конструкция стояночного тормоза должна исключать его самопроизвольный отпуск;

- ГОСТ 34434—2018 [9] устанавливает расчетный (испытательный) момент силы, прикладываемый к штурвалу стояночного тормоза $M = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Исходя из вышеупомянутых документов, установленное максимальное нормативное уси-

лие, прикладываемое к рукоятке стояночного тормоза, составляет 300 Н и задаваемый в испытаниях и расчетах стояночного тормоза крутящий момент, создаваемый динамометрическим ключом $100 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

В классическом понимании крутящего момента как произведения силы на плечо, при типовой конструкции штурвала привода стояночного тормоза радиусом 0,22 м, сравнение крутящих моментов на первый взгляд выявляет превышение максимального нормативного усилия на рукоятке стояночного тормоза ($0,22 \text{ м} \cdot 300 \text{ Н} = 66 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$).

На самом же деле штурвал приводят во вращение двумя руками, и крутящий момент создается парой сил ($100 \text{ Н} \cdot \text{м} / 0,22 \text{ м} / 2 = 227 \text{ Н} \leq 300 \text{ Н}$), но все же проблема отсутствия метода определения усилия на штурвале при удержании вагона на нормируемом уклоне остается нерешенной.

Таким образом, при проведении испытаний по проверке тормоза на вагонах-платформах возникает проблема с одновременным применением двух нормативных документов [17].

Решение

Для решения данной проблемы предложена следующая методика обработки результатов испытаний по проверке тормоза на вагоне или стационарные испытания тормоза (для апробации был выбран вагон-платформа. Общий вид и схема тормозной передачи испытуемого вагона-платформы представлены на рис. 1 и 2 соответственно).

Первоначально определяются средние величины усилий прижатия и действительная сила нажатия, приходящаяся на одну колодку. Затем рассчитывается коэффициент трения колодок о колесо и максимальный уклон пути, на котором обеспечивается удержание железнодорожного подвижного состава стояночным тормозом. Затем необходимо дважды применить метод итерации (далее подробно изложенный в работе), после чего производится оценка полученных результатов и их сравнение с нормативными значениями.

Основные технические характеристики испытуемого вагона-платформы представлены в табл. 1.

В табл. 2 представлены измеренные в ходе испытаний и полученные средние величины усилий прижатия колодок к колесам, при приложении к штурвалу стояночного тормоза вагона момент $100 \text{ Н} \cdot \text{м}$ с полноразмерными и изношенными колодками.

Действительная сила нажатия, приходящаяся на одну тормозную композиционную колодку K_d , определялась в соответствии с ГОСТ 34434—2018 по формуле (1) и составила $28,14 \text{ кН}$ для полноразмерных колодок и $21,73 \text{ кН}$ для изношенных.

$$K_d = \frac{\sum K_d}{m_k}, \quad (1)$$

где K_d — действительная сила нажатия, приходящаяся на одну тормозную колодку, кН;

$\sum K_d$ — суммарная сила нажатия тормозных композиционных колодок от действия стояночного тормоза, кН;

ТАБЛИЦА 1. Основные технические характеристики испытуемого вагона

Наименование параметра	Значение параметра
Грузоподъемность, т	72
Масса тары, т	21,5
Количество осей, шт.	4
Статическая осевая нагрузка, тс/ось	23,5
Длина вагона, мм: – по осям сцепления автосцепок; – по концевым балкам рамы	25 470 24 250
База вагона, мм	19 000

ТАБЛИЦА 2. Усилия нажатия колодок, полученные при испытаниях

№ замера	Ось 1, кН		Ось 2, кН	
	Датчик № 1	Датчик № 2	Датчик № 3	Датчик № 4
Полноразмерные колодки				
1	28,42	28,29	27,94	28,06
2	28,24	27,99	28,03	28,17
3	28,28	28,16	27,98	28,09
Σ	28,31	28,15	27,98	28,11
Изношенные колодки				
1	20,71	22,30	21,42	22,54
2	20,87	22,12	21,56	22,38
3	20,90	22,19	21,18	22,61
Σ	20,83	22,20	21,39	22,51

m_k — число колодок, действующих от механизма стояночного тормоза, $m_k = 4$.

По результатам проведенных испытаний был определен действительный статический коэффициент трения композиционной колодки о колесо φ_{kc} по формуле (2):

$$\varphi_{kc} = 0,44 \cdot \frac{0,1K_d + 20}{0,4K_d + 20}, \quad (2)$$

где φ_{kc} — действительный статический коэффициент трения композиционной колодки о колесо.

После этого в соответствии с ГОСТ 32880—2014 [10] определялся максимальный уклон пути, на котором обеспечивается удержание железнодорожного подвижного состава стояночным

ТАБЛИЦА 3. Результаты обработки

Параметр	Полноразмерные колодки	Изношенные колодки
$\sum K_d$, кН	112,6	86,93
K_d , кН	28,14	21,73
$\varphi_{кс}$	0,32	0,34
i_d , ‰	39,41	32,22

ТАБЛИЦА 4. Результаты расчета методом итерации для полноразмерных колодок

Значение, по которому ведется подбор		Подобранное значение	
Параметр	Значение параметра	Параметр	Значение параметра
Первый этап			
$\sum K_d$, кН	86,00	i_d , ‰	30,11
Второй этап			
M , Н·м	51,6	$\sum K_d$, кН	86,03

ТАБЛИЦА 5. Результаты расчета методом итерации для изношенных колодок

Значение, по которому ведется подбор		Подобранное значение	
Параметр	Значение параметра	Параметр	Значение параметра
Первый этап			
$\sum K_d$, кН	81,00	i_d , ‰	30,03
Второй этап			
M , Н·м	48,85	$\sum K_d$, кН	81,03

тормозом i_d , ‰ по выражению (3) при значении момента, прикладываемого к штурвалу стояночного тормоза $M = 100$ Н·м [18]:

$$i_d = 1000 \cdot \frac{\sum K_d \cdot \varphi_{кс}}{T + Q}, \quad (3)$$

где i_d — максимальный уклон пути, на котором обеспечивается удержание железнодорожного состава стояночным тормозом, ‰;

T — масса тары испытуемой единицы железнодорожного подвижного состава, т;

Q — грузоподъемность испытуемой единицы железнодорожного подвижного состава, т.

Таким образом, используя выражения (1–3), были получены необходимые данные для даль-

нейшей обработки результатов. Полученные значения результатов обработки представлены в табл. 3.

Особенность предложенной методики обработки результатов заключается в применении метода итерации в два этапа. На первом этапе с целью нахождения величины суммарной силы нажатия тормозных колодок от действия стояночного тормоза $\sum K_d$ по зависимости (3) при соблюдении условия, что максимальный уклон пути, на котором железнодорожный состав удерживается стояночным тормозом, будет равен 30 ‰.

Определив на первом этапе значение требуемой силы нажатия тормозных колодок от действия стояночного тормоза $\sum K_d$, на втором этапе выбирается значение момента на валу привода стояночного тормоза M по зависимости (4), чтобы значение требуемой силы нажатия тормозных колодок от действия стояночного тормоза $\sum K_d$ получилось таким же, как при максимальном уклоне пути $i_d = 30$ ‰. Подбор значений при итерациях ведется с точностью до второго десятичного знака.

$$\sum K_d = \frac{1}{1000} \cdot \left(\frac{M}{L} \cdot n_{чп} \cdot n_{рп.ст} \cdot n_{ст} - F_1 - F_2 \right) \times n \cdot n_{п}, \quad (4)$$

где L — измеренное фактическое расстояние от середины крепления тяги до оси сектора, м (для испытуемого объекта $L = 0,087$ м);

$n_{чп}$ — передаточное отношение червячной передачи (для испытуемого объекта $n_{чп} = 82$);

$n_{рп.ст}$ — передаточное число стояночного тормоза от сектора до штока тормозного цилиндра (для испытуемого объекта $n_{рп.ст} = 1,85$);

$n_{ст}$ — коэффициент полезного действия стояночного тормоза (для испытуемого объекта $n_{ст} = 0,2$);

F_1 — усилие отпускной пружины тормозного цилиндра (для испытуемого объекта $F_1 = 1,03$ кН);

F_2 — усилие пружины авторегулятора тормозной рычажной передачи, приведенное к штоку тормозного цилиндра (для испытуемого объекта $F_2 = 0,44$ кН).

Результаты обработки с применением метода итерации представлены в табл. 4 и 5 для полноразмерных и изношенных колодок соответственно.

Заключение

Полученные значения усилий, прикладываемых к штурвалу стояночного тормоза при проведении испытаний с учетом того, что на штурвал действует момент пары сил, не превышают нормативного значения 300 Н при выполнении условия по обеспечению удержания опытной единицы подвижного состава стояночным тормозом на уклоне 30‰ с полноразмерными и изношенными колодками.

Таким образом, предложенная методика расчетно-экспериментального определения максимального усилия, приложенного к рукоятке (штурвалу), позволяет, используя требования стандартов к методам испытаний и расчету стояночного тормоза, произвести оценку показателя при отсутствии в действующих стандартах метода.

Библиографический список

1. Артамонов Е. И. Тормозные системы, интегрированные в тележку грузовых вагонов / Е. И. Артамонов, А. Л. Ковязин, А. М. Орлова и др. // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. — 2018. — № 6(79).
2. Донченко А. В. Расчетные исследования по улучшению тормозной эффективности грузового вагона с отдельным торможением тележек / А. В. Донченко, Ю. Я. Водяников, А. М. Сафронов и др. // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. — 2009. — № 29.
3. Старостин С. С. Новые подходы к проектированию инновационных тормозных систем вагонов / С. С. Старостин, Е. С. Сипягин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. — 2014. — № 3(52).
4. Пшинько А. Н. Усовершенствование методов оценки эффективности тормозов вагонов / А. Н. Пшинько, С. В. Мямлин, В. И. Приходько и др. // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. — 2005. — № 7.
5. Гущин П. А. О путях совершенствования тормозной системы грузовых вагонов / П. А. Гущин, Р. А. Лысцев, Я. Д. Подлесников // Евразийский Союз Ученых. — 2015. — № 3-4(12).
6. Крон И. Р. Расчетно-экспериментальный метод определения основного сопротивления движению подвижного состава с применением цифровых моделей / И. Р. Крон, Б. О. Поляков // Транспорт Российской Федерации. — 2021. — № 4(95). — С. 50–53.
7. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 23 июня 2022 г. № 250.
8. Смольянинов П. В. Обоснование пути повышения надежности тормозной системы грузовых вагонов / П. В. Смольянинов, В. С. Смольянинов, В. А. Четвергов // Известия Транссиба. — 2012. — № 1(9).
9. ГОСТ 34434—2018. Тормозные системы грузовых железнодорожных вагонов. Технические требования и правила расчета (с поправкой). Официальное издание. — М.: Стандартинформ, 2018.
10. ГОСТ 32880—2014. Тормоз стояночный железнодорожного подвижного состава. Технические условия (Переиздание). Официальное издание. — М.: Стандартинформ, 2019.
11. ГОСТ 33597—2015. Тормозные системы железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний (переиздание с поправкой). Официальное издание. — М.: Стандартинформ, 2019.
12. ГОСТ 26725—97. Полувагоны четырехосные универсальные магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. Официальное издание. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.

13. ГОСТ Р 51659—2000. Вагоны-цистерны магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. Официальное издание. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.

14. ГОСТ 9.030—74. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Резины. Методы испытаний на стойкость в ненапряженном состоянии к воздействию жидких агрессивных сред (с изменениями № 1–4). Официальное издание. — М.: Стандартинформ, 2008.

15. ГОСТ 5973—2009. Вагоны-самосвалы (думпкары) железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия (Переиздание). Официальное издание. — М.: Стандартинформ, 2019.

16. ГОСТ 26686—96. Вагоны-платформы магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. Официальное издание. — М.: ИПК Издательство стандартов, 1997.

17. Клюка В. П. Оценка обеспечения удержания стояночным тормозом на нормированном уклоне инновационного полувагона с нагрузкой 27 т от колесной пары на

рельс / В. П. Клюка, П. Б. Сергеев, С. А. Мосол // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2019. — № 2(62).

18. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. Утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества (протокол от 6–7 мая 2017 № 60).

Дата поступления: 05.03.2023

Решение о публикации: 25.04.2023

Контактная информация:

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

КОМАЙДАНОВ Алексей Андреевич — аспирант; komaidanovnvc@yandex.ru

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

Refined Test Procedure for the Parking Brake of Freight Cars

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

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

²АО “NVTS “Vagony”, St. Petersburg, 190013, Russian Federation, intra-urban terr. municipal district Semenovskiy, 22, Moskovskiy pr., letter M, floor 1, room 5N

For citation: Zverev M. V., Komaidanov A. A., Smirnov A. N. Refined Test Procedure for the Parking Brake of Freight Cars // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 2, pp. 448–456. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-448-456

Purpose: A refined test procedure for the parking brake of freight cars is described, which simultaneously satisfies the requirements of two regulatory documents: GOST 26686-96, which establishes the moment applied to the handle (steering wheel) of the parking brake, not more than 300 N, at which a single free-standing loaded car on a slope of at least 30% must be retained, and GOST 34434-2018, which sets the design (test) moment of force applied to the parking brake handle at 100 N·m. **Methods:** Stage-by-stage processing of test results is carried out: initially, the average values of pressing force and the actual pressing force on a single brake block is determined. Then the coefficient of friction between the blocks and the wheel and the maximum slope of the track, on which the railway rolling stock is retained by the parking brake, are calculated. The solution of the problem is based on the iteration method, which must be applied twice: at the first stage, in order to find the value of the total pressing force on the brake blocks from the action of the parking brake, taking into account that the maximum slope of the track, on which the train is retained by the parking brake,

equals 30%, then at the second stage, such a value of the moment on the parking brake drive shaft is selected so that the value of the required pressing force on the brake blocks from the action of the parking brake is the same as with the maximum slope of the track $i_d = 30 \%$, after which the obtained results are evaluated and compared with the normative values. **Results:** An updated method for testing the parking brake of freight cars has been developed. **Practical significance:** The application of this technique will allow taking into account the requirements of two regulatory documents at the same time preventing their contradiction.

Keywords: Car testing, parking brake, retention by the parking brake, brake linkage, car brake calculation.

References

1. Artamonov E. I., Kovyazin A. L., Orlova A. M. et al. Tormoznye sistemy, integrirovannye v teleshku gruzovykh vagonov [Brake systems integrated into a freight car bogie]. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike* [Transport of the Russian Federation. Journal of science, practice, economics]. 2018, Iss. 6(79). (In Russian)
2. Donchenko A. V., Vodyannikov Yu. Ya., Safronov A. M. et al. Raschetnye issledovaniya po uluchsheniyu tormoznoy effektivnosti gruzovogo vagona s razdel'nym tormozheniem telezhek [Calculation studies to improve the braking efficiency of a freight car with separate braking of bogies]. *Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta* [Nauka i Progress Transporta. Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport]. 2009, Iss. 29. (In Russian)
3. Starostin S. S., Sipyagin E. S. Novye podkhody k proektirovaniyu innovatsionnykh tormoznykh sistem vagonov [New approaches to the design of innovative brake systems of cars]. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike* [Transport of the Russian Federation. Journal of science, practice, economics]. 2014, Iss. 3(52). (In Russian)
4. Pshin'ko A. N., Myamlin S. V., Prihod'ko V. I. et al. Uovershenstvovanie metodov otsenki effektivnosti tormozov vagonov [Improving the methods for evaluating the efficiency of car brakes]. *Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta* [Science and progress of transport. Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport]. 2005, Iss. 7. (In Russian)
5. Gushchin P. A., Lystsev R. A., Podlesnikov Ya. D. O putyakh sovershenstvovaniya tormoznoy sistemy gruzovykh vagonov [On ways to improve the brake system of freight cars]. *Evraziyskiy Soyuz Uchenykh* [Eurasian Union of Scientists]. 2015, Iss. 3-4(12). (In Russian)
6. Kron I. R., Polyakov B. O. Raschetno-eksperimental'nyy metod opredeleniya osnovnogo soprotivleniya dvizheniyu podvizhnogo sostava s primeneniem tsifrovyykh modeley [Calculation and experimental method for determining the main resistance to the movement of rolling stock using digital models]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation]. 2021, Iss. 4(95), pp. 50–53. (In Russian)
7. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznikh dorog Rossiyskoy Federatsii, utverzhdennye prikazom Ministerstva transporta Rossiyskoy Federatsii ot 23 iyunya 2022 g. № 250* [Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation, approved by order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated June 23, 2022 № 250]. (In Russian)
8. Smol'yaninov P. V., Smol'yaninov V. S., Chetvergov V. A. Obosnovanie puti povysheniya nadezhnosti tormoznoy sistemy gruzovykh vagonov [Substantiation of ways to improve the reliability of the brake system of freight cars]. *Izvestiya Transsiba* [Izvestiya Transsib]. 2012, Iss. 1(9). (In Russian)
9. *GOST 34434—2018. Tormoznye sistemy gruzovykh zheleznodorozhnykh vagonov. Tekhnicheskie trebovaniya i pravila rascheta (s popravkoy). Ofitsial'noe izdanie* [GOST 34434—2018. Brake systems of freight railway cars. Technical requirements and calculation rules (as amended). Official publication]. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian)
10. *GOST 32880—2014. Tormoz stoyanochnyy zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Tekhnicheskie usloviya*

(*Pereizdanie*). *Ofitsial'noe izdanie* [GOST 32880—2014. Parking brake of railway rolling stock. Specifications (Reprint edition). Official publication]. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian)

11. *GOST 33597—2015. Tormoznye sistemy zhelezno-dorozhnogo podvizhnogo sostava. Metody ispytaniy (pereizdanie s popravkoy)*. *Ofitsial'noe izdanie* [GOST 33597—2015. Brake systems of railway rolling stock. Test Methods (Revised edition). Official publication]. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian)

12. *GOST 26725—97. Poluvagony chetyrekhosnye universal'nye magistral'nykh zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Obshchie tekhnicheskie usloviya. Ofitsial'noe izdanie* [GOST 26725—97. Four-axle universal gondola cars for 1520 mm gauge mainline railways. General specifications. Official publication]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 2004. (In Russian)

13. *GOST R 51659—2000. Vagony-tsisterny magistral'nykh zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Obshchie tekhnicheskie usloviya. Ofitsial'noe izdanie* [GOST R 51659—2000. Tank cars of 1520 mm gauge mainline railways. General specifications. Official publication]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 2000. (In Russian)

14. *GOST 9.030—74. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya (ESZKS). Reziny. Metody ispytaniy na stoykost' v nenapryazhennom sostoyanii k vozdeystviyu zhidkikh agressivnykh sred (s izmeneniyami № 1–4)*. *Ofitsial'noe izdanie* [GOST 9.030—74. Unified Corrosion and Aging Protection System (ESZKS). Rubber. Test methods for resistance in an unstressed state to the effects of liquid aggressive media (as amended № 1–4). Official publication]. Moscow: Standartinform Publ., 2008. (In Russian)

15. *GOST 5973—2009. Vagony-samosvaly (dumpkary) zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Obshchie tekhnicheskie usloviya (Pereizdanie)*. *Ofitsial'noe izdanie* [GOST 5973—2009. Dump cars (dumpcars) of 1520 mm gauge railways.

General Specifications (Reissue). Official publication]. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian)

16. *GOST 26686—96. Vagony-platformy magistral'nykh zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Obshchie tekhnicheskie usloviya. Ofitsial'noe izdanie* [GOST 26686—96. Platform cars of 1520 mm gauge mainline railways. General specifications. Official publication]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 1997. (In Russian)

17. Klyuka V. P., Sergeev P. B., Mosol S. A. Otsenka obespecheniya uderzhaniya stoyanochnym tormozom na normirovannom uklone innovatsionnogo poluvagona s nagruzkoj 27 t ot kolesnoy pary na rel's [Evaluation of holding by a parking brake on a normalized slope of an innovative gondola car with a load of 27 tons from a wheelset on a rail]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling]. 2019, Iss. 2(62). (In Russian)

18. *Pravila tekhnicheskogo obsluzhivaniya tormoznogo oborudovaniya i upravleniya tormozami zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Utverzhdeno Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv — uchastnikov Sodruzhestva (protokol ot 6–7 maya 2017. № 60)* [Rules for the maintenance of brake equipment and control of the brakes of railway rolling stock. Approved by the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States (Minutes of May 6–7, 2017 № 60)]. (In Russian)

Received: March 05, 2023

Accepted: April 25, 2023

Author's information:

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

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

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