

## Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.4

doi: 10.30987/2782-5957-2022-5-44-50

### ОБ ОЦЕНКАХ РАБОЧИХ КАЧЕСТВ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ АВТОСЦЕПНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Михаил Петрович Козлов<sup>1</sup>, Нина Амосовна Корниенко<sup>2✉</sup>,  
Сергей Валерьевич Беспалько<sup>3</sup>, Дмитрий Юрьевич Карев<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Российский университет транспорта РУТ (МИИТ), Москва, Россия

<sup>1</sup>mikhail.p.k@gmail.com;

<sup>2</sup>kornienkonina67@yandex.ru;

<sup>3</sup>besp-alco@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6027-6039>;

<sup>4</sup>d\_giggs@mail.ru/

#### Аннотация

Цель исследования состоит в разработке методики оценки качества работы поглощающих аппаратов автосцепки в различных условиях эксплуатации. Задача, решению которой посвящена статья, - это снижение динамической нагруженности подвижного состава через применение эффективных устройств поглощения энергии. Методы исследования, на которых основана данная работа, широко применяются в динамике вагонов. Рассмотрены типичные режимы маневрового соударения вагонов, для которого характерно появление наиболее высокого уровня сил в автосцепках. Расчетные схемы соударений приняты в виде системы связанных материальных точек. На основе принципа Далам-

бера составлены дифференциальные уравнения движения, интегрирование которых производится методом Эйлера. Новизна работы состоит в разработке подхода к оценке качества работы поглощающих аппаратов с применением предложенных комплексных оценок. Результаты исследования представляют собой номограммы усилия в поглощающем аппарате зависимости от массы вагонов и скорости соударения. Выводы по работе содержат оценку результатов применения предложенного подхода, а также рекомендации по возможности применения предложенных подходов.

**Ключевые слова:** поглощающий аппарат, приборы, вагон, соударение, характеристика.

Ссылка для цитирования:

Козлов М.П. Об оценках рабочих качеств поглощающих аппаратов автосцепного оборудования подвижного состава железных дорог / М. П. Козлов, Н. А. Корниенко, С. В. Беспалько, Д. Ю. Карев // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 5. – С. 44–50. doi: 10.30987/2782-5957-2022-5-44-50.

Original article

Open Access Article

### PERFORMANCE EVALUATION OF CENTER COUPLER DRAFT GEARS OF RAILWAY ROLLING STOCK

Mikhail Petrovich Kozlov<sup>1</sup>, Nina Amosovna Kornienko<sup>2✉</sup>, Sergey Valeryevich Bepalko<sup>3</sup>,  
Dmitry Yuryevich Karev<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

<sup>1</sup>mikhail.p.k@gmail.com;

<sup>2</sup>kornienkonina67@yandex.ru;

<sup>3</sup>besp-alco@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6027-6039>;

<sup>4</sup>d\_giggs@mail.ru/

The study objective is to develop methods for performance evaluation of center coupler draft gears in various operating conditions. The problem to which the paper is devoted is to reduce the dynamic loading of the rolling stock by means of using efficient draft gears. The research methods on which this study is based are widely used in the dynamics of railroad cars. Typical modes of shunting impact of cars are considered, which are characterized by the highest level of forces in automatic couplings. The design schemes of impacts are considered as a system of connected material points. On the basis of D'Alembert's principle, dif-

ferential equations of motion are made, and they are integrated by the Euler method. The novelty of the work is in developing an approach to evaluate the performance of draft gears using the proposed integrated evaluation. The results of the study are the nomographs of the effort in the draft gear, depending on car weight and the speed of impact. The conclusions of the study contain the evaluation of the results of applying the proposed approach, as well as recommendations on possible use of the proposed approaches.

**Keywords:** draft gear, devices, car, impact, characteristic.

#### Reference for citing:

Kozlov M.P., Kornienko N.A., Bepalko S.V., Karev D.Yu. Performance evaluation of center coupler draft gears of railway rolling stock. *Transport Engineering*. 2022;5:44-50. doi: 10.30987/2782-5957-2022-5-44-50.

## Введение

Оценка эффективности работы поглощающих аппаратов автосцепки представляет собой важную задачу вагоностроения. Адекватный выбор типа и модели поглощающего аппарата позволяет снизить динамическую нагруженность вагона при одном из наиболее ответственных эксплуатационных режимов – маневровом соударении. Обычно уценку поглощающих аппаратов для потребителей продукции осуществляют следующими способами:

- по их энергоемкости – энергии, воспринимаемой аппаратом при его ударном сжатии на величину, за полный ход;
- по силовой характеристике – зависимости между силой нажатия на аппарат и величиной его деформации;
- по способности необратимо поглощать энергию удара;
- по стабильности работы аппарата – способности сохранять эффективность и силовую характеристику при повторных ударах [1, 2].

Эти оценки основательно закрепились и используются длительное время при проектировании и производстве поглощающих аппаратов на рынках их сбы-

та. Можно сказать, что перечисленные показатели стали паспортными данными рассматриваемых ответственных узлов подвижного состава, обеспечивающих защиту вагонов и локомотивов от повреждений в поездах, при маневровой работе, в аварийных ситуациях. По численным значениям названных параметров производится сопоставление поглощающих аппаратов.

Вместе с тем, хотелось бы обратить внимание на то, что потребителя, в конечном счете, интересует, не будет ли при столкновении единиц подвижного состава возникать превышение хода аппаратов над его допустимой величиной. Необходимо также, чтобы на всем ходе аппарата сила удара или ускорение [3] не превышали допустимого уровня, устанавливаемого нормативной документацией [4]. Кроме того, надо знать действительные скорости соударения и значения масс единиц подвижного состава, при которых обеспечиваются выполнения вышеназванных условий. Разработке комплексного подхода, позволяющего решить эти проблемы, посвящена настоящая работа.

## Материалы, модели и методы

Компьютерное моделирование позволяет получить обширную информацию, направленную на обеспечение выполнения основных требований к параметрам поглощающих аппаратов. Рассмотрим типичные – удар в упор:

схемы маневрового соударения [5, 6], показанные на рис. 1.

Применим достаточно простые математические модели маневрового соударения [7, 8]:

$$\begin{cases} m_{жс} \ddot{x}_{жс} + c_{жс}(x_{жс} - x_1) = 0; \\ m_1 \ddot{x}_1 - c_{жс}(x_{жс} - x_1) + R_1(x_1, \dot{x}_1) = 0; \end{cases} \quad (1)$$

– удар в подпертый вагон:

$$\begin{cases} m_{жс} \ddot{x}_{жс} + c_{жс}(x_{жс} - x_1) = 0; \\ m_1 \ddot{x}_1 - c_{жс}(x_{жс} - x_1) + R_1[(x_1 - x_2), (\dot{x}_1 - \dot{x}_2)] = 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 - R_1[(x_1 - x_2), (\dot{x}_1 - \dot{x}_2)] + R_2(x_2, \dot{x}_2) = 0; \end{cases} \quad (2)$$

– удар в свободно стоящий вагон:

$$\begin{cases} m_{жс} \ddot{x}_{жс} + c_{жс}(x_{жс} - x_1) = 0; \\ m_1 \ddot{x}_1 - c_{жс}(x_{жс} - x_1) + R[(x_1 - x_2), (\dot{x}_1 - \dot{x}_2)] = 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 - R[(x_1 - x_2), (\dot{x}_1 - \dot{x}_2)] = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где  $m_1, m_2$  – массы вагонов;  
 $m_{жс}$  – масса жидкого груза в котле цистерны;  
 $x_1, x_2$  – перемещения вагонов;  
 $x_{жс}$  – продольное перемещение жидкого груза в котле цистерны;  
 $R_1, R_2$  – реакции межвагонных связей, зависящие от деформации, скорости деформации и типа поглощающего аппарата;

$c_{жс}$  – приведенная жесткость жидкого груза, представляемого в виде маятника.

Некоторая погрешность представленных формул, которая создает более жесткие условия, чем те, что возникают в эксплуатации, позволяет получить искомые параметры с «запасом». Это, в частности, касается аппроксимации колебаний жидкого груза при помощи маятника с приведенной жесткостью.

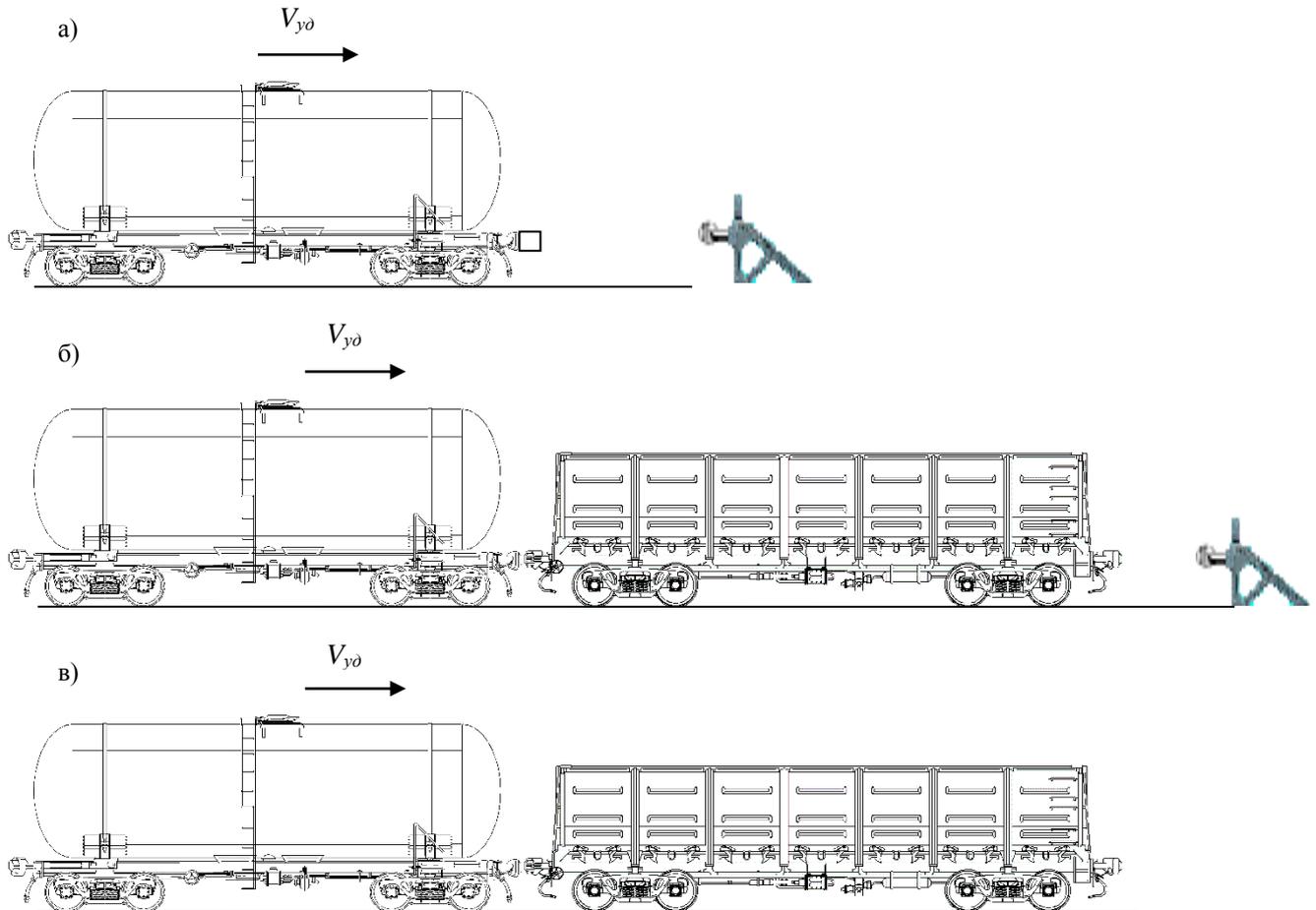


Рис. 1. Схемы маневрового соударения: а – удар вагона в упор (схема №1);  
б – удар в подпертый вагон (схема №2); в – удар в свободно стоящий вагон (схема №3)  
Fig. 1. Schemes of maneuvering collision: a – the impact of the car at point-blank range (scheme No. 1);  
b – the impact through the intermediate car at point-blank range (scheme No. 2);  
c – the impact to a free-standing car (scheme No. 3)

Уравнения (1)-(3) обычно нелинейные, т.к. реакция  $R$  отражает характер силовой характеристики аппарата, в которой могут быть учтены, в зависимости от рабочих органов поглощающего аппарата, силы постоянного сухого трения, позиционного сухого трения и вязкого трения, начальная затяжка, возможные зазоры между рабочими деталями системы гашения энергии.

Математические модели силовых характеристик поглощающих аппаратов различных моделей разработаны в трудах [5, 9, 6].

## Результаты

Были выполнены многовариантные расчеты с варьированием массами и скоростью при каждой схеме маневрового соударения [10]. Очевидно, что наиболее жесткий случай соударения при оценке хода аппарата или уровня сил – это удар в упор (схема №1), поэтому в качестве при-

Интегрирование уравнения будем осуществлять при следующих начальных условиях:

$$\text{при } t=0: x_I=0, \dot{x}_I=V_{y\partial};$$

дополнительно для схем №№ 2, 3 –  $x_2=0, \dot{x}_2=0,$

где  $V_{y\partial}$  – начальная скорость соударения.

Для интегрирования применим численный метод – метод Эйлера, который в предварительных расчетах обеспечил удовлетворительную сходимость для данной задачи.

меров приведем диаграммы именно для этого варианта.

На рис. 2 приведены примеры зависимостей реакции в автосцепке от времени для эластомерного [11] и пружинно-фрикционного поглощающих аппаратов [2], полученных для скорости соударения 2,5 м/с.

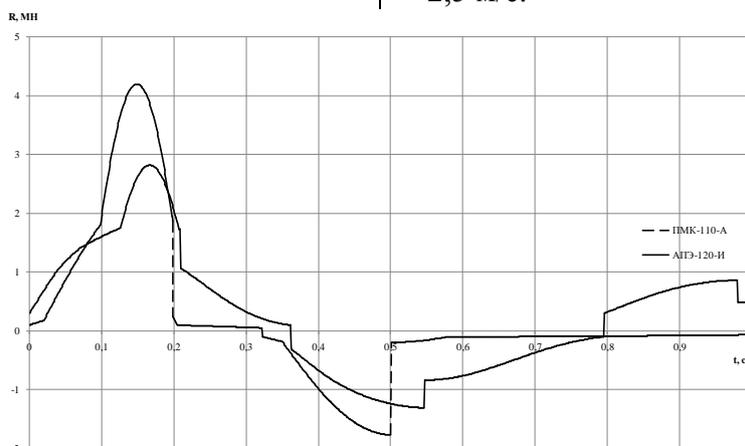


Рис. 2. Зависимость реакции от времени при ударе по схеме №1

Fig. 2. The dependence of the reaction on time at impact according to scheme No. 1

Ниже приведен способ иллюстрации результатов многовариантных расчетов в виде диаграмм с изолиниями хода и сил при соударении в зависимости от массы единиц подвижного состава и скоростей маневрового соударения [6] (см. рис. 3, 4). Результаты приведены для двух характерных типов поглощающих аппаратов: пружинно-фрикционного и эластомерного.

Аналогичные диаграммы построены для других схем маневрового соударения и моделей поглощающих аппаратов. Тонированная область диаграммы показывает такое соотношение величин, при котором реакция в автосцепке принимает недопустимые значения [4].

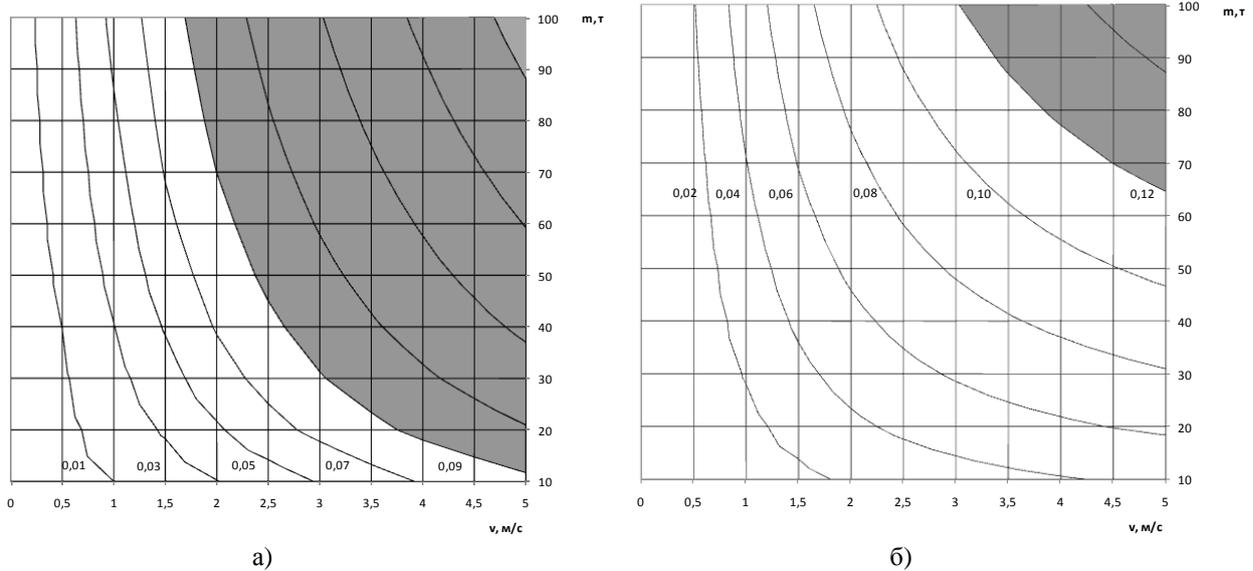


Рис. 3. Изолинии полного хода поглощающих аппаратов в зависимости от скорости и массы при ударе в упор (ход поглощающих аппаратов принимается в метрах);  
 а – пружинно-фрикционный аппарат; б – эластомерный аппарат  
 Fig. 3. Isolines of the full stroke of the absorbing devices, depending on the speed and mass when hitting at close range (the stroke of the absorbing devices is taken in meters); a – spring-friction apparatus; b – elastomeric apparatus

Воспользовавшись диаграммой изолиний хода аппарата и зная массу единицы подвижного состава, можно определить допустимую скорость соударения, при ко-

торой не происходит закрытия аппарата, а затем по заданной массе и выбранной скорости по диаграмме с изолиниями сил выяснить, какова будет сила соударения [12].

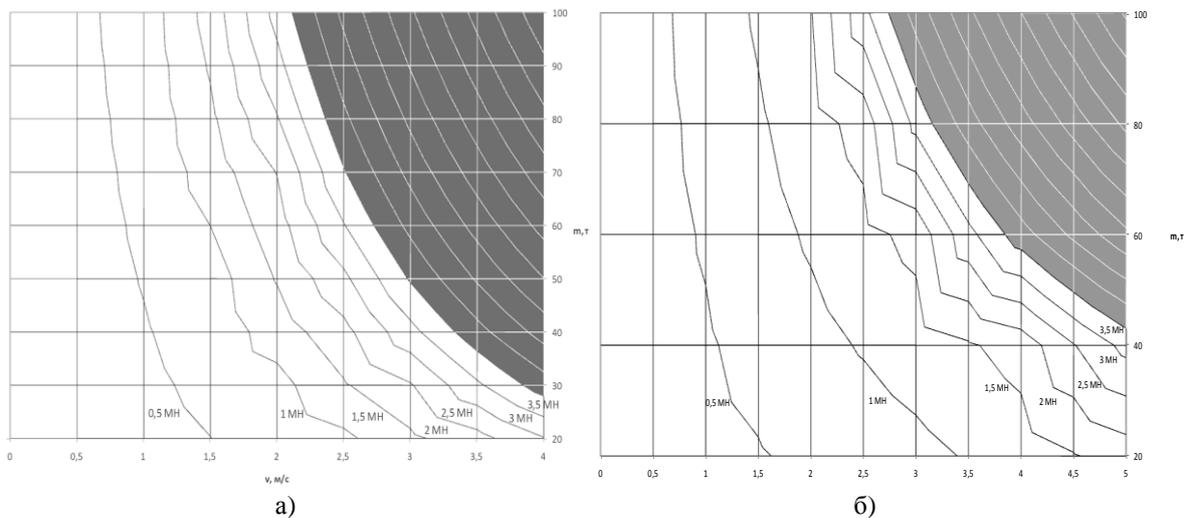


Рис. 4. Изолинии усилия в поглощающем аппарате в зависимости от скорости и массы при ударе в упор;  
 а – пружинно-фрикционный аппарат; б – эластомерный аппарат  
 Fig. 4. Isolines of the force in the absorbing apparatus depending on the speed and mass when hitting at close range;  
 a – spring-friction apparatus; b – elastomeric apparatus

### Закключение

Диаграммы изолиний хода и сил позволяют по допустимому уровню ускорений, зная массу единицы подвижного состава, подобрать допустимый уровень скорости столкновения с препятствием и проверить, не будет ли при этом закрываться поглощающий аппарат.

В частности, приведенные диаграммы наглядно показывают преимущества эластомерных аппаратов перед пружинно-фрикционными. Это выражается в том, что область допускаемых соотношений (белый фон) на правых диаграммах (б) существенно шире.

Авторы статьи полагают, что введение предложенных оценок в практику выбора средств защиты единиц подвижного состава от продольных ударов будет иметь высокий уровень полезности. Потребителю противоударной защиты необходимо

быть уверенным, что она работает стабильно, обеспечивая допустимое значение уровня сил (или ускорений) и исключая возможность жестких ударов из-за закрытия противоударных устройств (выбора полного хода).

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Никольский Л.Н., Кеглин Б.Г. Амортизаторы удара подвижного состава : монография. Москва: Машиностроение, 1986. - 144 с.
2. Лукин В.В., Анисимов П.С., Котуранов В.Н., Хохлов А.А., Кобищанов В.В. Конструирование и расчет вагонов: монография / под ред. П.С. Анисимова. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2011. 688 с.
3. Козлов М.П., Козлов М.В., Котуранов В.А. Линейные ускорения опорных точек кузова. Мир транспорта. 2013. №2. С. 38-40.
4. Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС, колеи 1520 мм (несамостоятельных). Москва, ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 319 с.
5. Беспалько С.В. Разработка и анализ моделей повреждающих воздействий на котлы цистерн для перевозки криогенных продуктов: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Беспалько Сергей Валерьевич ; Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). - Москва, 2000. - 36 с.: ил. - Библиогр.: с. 43-45. - Место защиты: МИИТ. - Текст: непосредственный.
6. Богачев В.И. Моделирование процесса развития внутреннего давления в котле цистерны и напряженного состояния днища при маневровом соударении: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Богачев Вячеслав Иванович; Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). - Москва, 2015. - 16 с. : ил. - Библиогр.: с. 15-16. - Место защиты: МИИТ. - Текст: непосредственный.
7. Котуранов В.Н., Беспалько С.В., Корниенко Н.А., Козлов М.П. Потребляемая мощность как энергетический критерий оценки эффективности поглощающих аппаратов автосцепки. Наука и техника транспорта. 2017. № 3. С. 18-22.

8. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагонов: монография / под ред. С.В. Вершинского. М.: Транспорт, 1991. 360 с.
9. Андриянов С.С. Нагруженность элементов специализированных вагонов, оборудованных амортизаторами повышенной энергоемкости: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Андриянов Сергей Сергеевич ; Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). - Москва, 2006. - 24 с. : ил. - Библиогр.: с. 23-24. - Место защиты: МИИТ. - Текст: непосредственный.
10. Котуранов В.А. Обоснование показателей, характеризующих новационность конструкций поглощающих аппаратов автосцепки в условиях маневровых соударений: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Котуранов Василий Андреевич; Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). - Москва, 2014. - 24 с. : ил. - Библиогр.: с. 23. - Место защиты: МИИТ. - Текст: непосредственный.
11. Горячев С.А. Разработка методики проектирования и выбор параметров эластомерного поглощающего аппарата грузовых вагонов: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Горячев Сергей Александрович; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС). - Екатеринбург, 1999. - 26 с. : ил. - Библиогр.: с. 25-26. - Место защиты: УрГУПС. - Текст: непосредственный.
12. Сергеев К.А., Козлов М.П., Котуранов В.А. Показатели инновационности технических решений по конструкциям грузовых вагонов, имеющих численные оценки. Наука и техника транспорта. 2012. №4. С.95-97.

#### REFERENCE

1. Nikolsky L.N, Keglın B.G. Shock absorbers of rolling stock. Moscow: Mashinostroenie; 1986.
2. Lukin V.V, Anisimov P.S, Koturanov V.N, Khokhlov A. A, Kobishchanov V.V. Construction and calculation of cars. Moscow: Educational and Methodological Center in Railway Transport; 2011.

3. Kozlov M.P, Kozlov M.V, Koturanov V.A. Linear accelerations of body control points. The world of Transport. 2013;2:38-40.
4. Standards for the calculation and design of railcars of the Ministry of Railways, gauge 1520 mm (non-

- self-propelled). Moscow: GosNIIV-VNIIZhT; 1996.
5. Bepalko S.V. Development and analysis of models of damaging effects on tank boilers for the transportation of cryogenic products [abstract of the dissertation]. [Moscow (RF)]: Moscow State University of Railway Engineering (МИИТ); 2000.
  6. Bogachev V.I. Modeling of the process to develop internal pressure in the tank boiler and the stressed state of the bottom during maneuver collision [abstract of the dissertation]. [Moscow (RF)]: Moscow State University of Railway Engineering (МИИТ); 2015.
  7. Koturanov V.N, Bepalko S.V., Kornienko N.A, Kozlov M.P. Power consumption as an energy criterion for performance evaluating of center coupler draft gears. *Science and Technology in Transport*. 2017;3:18-22.
  8. Vershinsky S.V, Danilov V.N, Khusidov V.D. Car dynamics. Moscow: Transport; 1991.

9. Andriyanov S.S. Element loading of specialized cars equipped with shock absorbers of increased energy intensity [abstract of the dissertation]. [Moscow (RF)]: Moscow State University of Railway Engineering (МИИТ); 2006.
10. Koturanov V.A. Substantiation of the indicators characterizing the innovative designs of center coupler draft gears in the conditions of shunting collisions [abstract of the dissertation]. [Moscow (RF)]: Moscow State University of Railway Engineering (МИИТ); 2014.
11. Goryachev S.A. Development of the design methodology and selection of parameters of the elastomeric drive gears of freight cars [abstract of the dissertation]. [Yekaterinburg (RF)]: Ural State University of Railway Transport; 1999.
12. Sergeev K.A, Kozlov M.P, Koturanov V.A. Indicators of innovative technical solutions for freight car designs having numerical estimates. *Science and Technology inTransport*. 2012;4:95-97.

### Информация об авторах:

**Козлов Михаил Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», тел. 8-495-684-22-10, Spin-код: 5523-8630. AuthorID: 528731.

**Корниенко Нина Амосовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика», тел. 8-495-684-23-06, AuthorID-РИНЦ351358.

**Kozlov Mikhail Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cars and Car Facilities, phone: 8-495-684-22-10, Spin-code: 5523-8630. AuthorID: 528731.

**Kornienko Nina Amosovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, phone: 8-495-684-23-06, AuthorID-RSCI 351358.

**Беспалько Сергей Валерьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», тел.8-495-684-22-32, член Диссертационного совета Д 218.005.01, ORCID 0000-0002-6027-6039, РИНЦ SPIN-код25201669, Author-ID-РИНЦ274453.

**Карев Дмитрий Юрьевич**, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», тел. 8-495-684-22-32.

**Bepalko Sergey Valeryevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Cars and Car Facilities, phone: 8-495-684-22-32, member of the Dissertation Council Д 218.005.01, ORCID 0000-0002-6027-6039, RSCI SPIN-code 25201669, Author-ID- RSCI 274453.

**Karev Dmitry Yuryevich**, Postgraduate Student of the Department of Cars and Car Facilities, phone: 8-495-684-22-32.

**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 25.03.2022; одобрена после рецензирования 08.04.2022; принята к публикации 21.04.2022. Рецензент – Волохов Г.М., доктор технических наук, зав. отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава», член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 25.03.2022; approved after review on 08.04.2022; accepted for publication on 21.04.2022. The reviewer is Volokhov G.M., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength of "Research and Development and Technological Institute of Rolling Stock", member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.