

**В.В. Тюньков<sup>1</sup>, Н.П. Рычков<sup>1</sup>, В.С. Бузунова<sup>1</sup>, А.В. Ромашов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **СИНТЕЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДЕМПФИРОВАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ВНУТРЕННЕЙ КИНЕМАТИКИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

**Аннотация.** Рассматривается возможность использования взаимодемпфирования сборочных узлов грузового вагона группировкой сопряжённых деталей на основе смещения частоты резонансов и автоколебаний формируемых групп и особенно при проходе составом кривых железнодорожного пути, в том числе малого радиуса и горно-перевальных участков. Особое внимание уделяется прикладному использованию теории простых и сложных колебательных систем с выходом на определённое конструктивное решение для обеспечения нормативного уровня безопасности движения и позитивной реализации технического и технологического ресурса железнодорожного подвижного состава.

**Ключевые слова:** синтез, сборочный узел, демпфирование, внутренняя кинематика вагона, ресурс, безопасность, структура, колебательная система

**V. V. Tyunkov<sup>1</sup>, N. P. Rychkov<sup>1</sup>, V. S. Buzunova<sup>1</sup>, A. V. Romashov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

## **SYNTHESIS OF CONSTRUCTION SOLUTIONS BASED ON DAMPING WITHIN THE INTERNAL KINEMATICS OF FREIGHT CARS**

**Annotation.** The possibility of using mutual damping of assembly units of a freight car by a grouping of mating parts based on a shift in the frequency of resonances and self-oscillations of the groups being formed, and especially when the train passes by the curves of the railway track, including small radius and mountain pass sections, is considered. Particular attention is paid to the applied use of the theory of simple and complex oscillatory systems with access to a certain design solution to ensure the normative level of traffic safety and the positive implementation of the technical and technological resource of railway rolling stock.

**Keywords:** synthesis, assembly unit, damping, internal kinematics of a car, resource, safety, structure, oscillatory system.

**Введение.** Рассматривая железнодорожный грузовой вагон как взаимосвязанную колебательную систему со сложной внутренней кинематикой, приходим к выводу о необходимости композиционного увязывания исходных масс сборочных узлов и деталей и их конструктивного совершенствования для избегания возможных резонансов, влияющих на повышенный износ и негативную динамику. Предлагается объединение групп деталей с проявлением свойства взаимодемпфирования, особенно при движении в порожнем состоянии и при различных видах торможения.

**Исходная позиция.** Любая техническая система, «состоящая из ограниченного числа элементов, рассчитана на определенный уровень внешних воздействий без выхода за нормированное предельное состояние. Во многих исследованиях статистически обрабатываются результаты взаимодействия грузового вагона с верхним строением пути (колесо – рельс), но не рассматривается колебательный процесс, приводящий к повышенному износу и дальнейшему выходу за предельное состояние. Этот процесс особенно значим в период движения грузовых вагонов в порожнем состоянии [1]. «Проверочный расчёт представляет собой алгоритм, где математическая модель, позволяющая рассматривать докритические состояния, допускает комплексное решение в виде суммы решений однородного дифференциального уравнения (когда воздействие в правой части уравнения равно нулю) и решения неоднородного уравнения (когда правая часть уравнения отлична от нуля, а движение принимает моментно установившийся характер)» [2].

**Описание предлагаемой тенденции.** Для затухающих колебаний с докритическим и сверхкритическим демпфированием при воздействии ниже расчетного уровня используем известные дифференциальные уравнения.

В нашем случае основной интерес в них представляют действительные решения, которые и используются далее с классическими методиками получения оценок реализуемых параметров. Решение здесь будет действительным, так как постоянные  $\bar{A}$  и  $\bar{B}$  - действительные, равные или комплексно сопряженные величины и поэтому постоянные  $\bar{C}$  и  $\bar{D}$  действительные.

$$\begin{aligned} v &= \bar{A} e^{(-\delta+j\omega_0^*)t} + \bar{B} e^{(-\delta+j\omega_0^*)t} = \\ &e^{-\delta t} \left[ (\bar{A} + \bar{B}) \cos \omega_0^* t + j(\bar{A} - \bar{B}) \sin \omega_0^* t \right] = \\ &= e^{-\delta t} (C \cos \omega_0^* t + D \sin \omega_0^* t). \end{aligned}$$

Здесь  $v$  - составляющая смещения или скорости вдоль оси  $y$ ,  $\delta$  - постоянная затухания,  $\omega$  - частота,  $t$  - время,  $j = \sqrt{-1}$  - мнимая единица.

В этом решении сохраняем оба знака частоты  $\omega_0^*$ . Если использовать комплексные обозначения, то постоянная интегрирования  $\bar{V}$ , а решение записывается как

$$\bar{v} = \bar{V} e^{-\delta t + j\omega_0^* t}, \quad \partial_t \bar{v} = V e^{j\varphi} = V \cos \varphi + j \sin \varphi.$$

При сильном демпфировании (наиболее часто встречающийся случай) частота  $\omega_0^*$  может быть значительно меньше резонансной частоты  $\omega_0$ . Если  $\omega_0^2 \leq \delta^2$ , то величина  $\omega_0^{*2}$  становится мнимой и скорость, не совершая колебаний, экспоненциально затухает во времени. В этом случае выражению  $p = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$  соответствуют два независимых решения и полное решение имеет вид для сверхкритического демпфирования

$$v = A e^{(-\delta + \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t} + B e^{(-\delta - \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t}.$$

В данном случае при  $\omega_0^* = 0$  оба решения идентичны и сводятся к простой экспоненте  $\xi = A e^{-\delta t}$ , где  $\delta = \omega_0$ .

Продифференцируем это выражение по параметру  $\delta$ , т.е.  $\xi = -At e^{-\delta t}$ . Здесь оно по параметру эквивалентно образованию разности двух решений. Получающееся решение действительно линейно независимо от исходного решения (из-за наличия множителя  $t$ ) и удовлетворяет исходному дифференциальному уравнению.

Подтвердим также, что наиболее простой путь получения действительного решения сводится к представлению комплексного решения в полярной форме:

$$\tilde{v} = \frac{\tilde{f}}{\tilde{Z}} = \frac{F e^{j\omega t + j\varphi_F}}{Z e^{j\varphi_Z}} = \frac{F}{Z} e^{j(\omega t + \varphi_F - \varphi_Z)}, \quad \text{где}$$

$$\bar{Z} = Z e^{j\varphi_Z}, \quad \bar{F} = F e^{j\varphi_F}, \quad \operatorname{tg} \varphi_Z = \frac{\omega M - (1/\omega K)}{R} = \frac{\omega_0 M_v}{R} = Q_v$$

Если в приведенном выражении отбрасываем мнимую часть, то получаем действительное выражение для скорости  $v = \text{Re}(\tilde{v}) = \frac{F}{Z} \cos(\omega t + \varphi_F - \varphi_Z)$ . Комплексное решение для амплитуды смещения записывается в виде  $\tilde{\xi} = \frac{\tilde{v}}{j\omega} = \frac{\tilde{F}}{j\omega Z} = \frac{F}{\omega Z} e^{j(\omega t + \varphi_F - \varphi_Z - \pi/2)}$ , и соответствующее действительное решение принимает вид:

$$\xi = \text{Re}(\tilde{\xi}) = \frac{F}{\omega Z} \cos\left(\omega t + \varphi_F - \varphi_Z - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{F \cos\left[\omega t + \varphi_F - \varphi_Z - \left(\frac{\pi}{2}\right)\right]}{\sqrt{\left[\left(\frac{1}{K}\right) - \omega^2 M\right]^2 + \omega^2 R^2}}.$$

Рассчитанный результат зависит от степени композиционного уплотнения сборочных узлов и соответственно уровня демпфирования, и высота максимума на частотной кривой имеет конечное значение. Здесь на нулевой частоте амплитуда скорости равна нулю, и все возможные кривые имеют максимум на одной и той же частоте  $\omega_0$  независимо от демпфирования. Частота  $\omega_0$ , являясь характерным параметром системы, будет резонансной частотой, при которой амплитуда скорости достигает экстремума. Множитель  $1/\omega$  увеличивает амплитуду смещения на низких частотах и уменьшает ее на высоких частотах.

Демпфирование, так или иначе, проявляется во всех сложных системах и зависит от рациональной перекомпозиции их элементов, см. структура вагона (Таблица 1).

Таблица 1

Структура 4-осного цельнометаллического полувагона с глухими торцовыми стенами модели 12-132, как система взаимодействующих элементов

|  |                               |  |
|--|-------------------------------|--|
| 1. Кузов   | 1.3 Рама                      | Количество элементов в системе Рама – 12<br>1.3.1 Балка хребтовая, 1.3.2 Балка шкворневая, 1.3.3 Балка концевая, 1.3.4 Балка промежуточная, 1.3.6 Задний упор, 1.3.7 Передний упор, 1.3.10 Кронштейн тормозного цилиндра, 1.3.11 Кронштейн запасного резервуара, 1.3.14 Предохранительная планка, 1.3.15 Пятник, 1.3.16 Коробка надпятниковая, 1.3.17 Скользун |
| Количество элементов в системе Кузов – 17                      |                               |  |
| 2 Тележка (ходовые части)                                      | 2.1 Рама боковая              |  |
|  | 2.2 Колесная пара             |  |
|  | 2.3 Букса                     | 2.3.1 Корпус, 2.3.2 Подшипник из 4-х элементов, 2.3.3 Лабиринтное кольцо, 2.3.4 Упорное кольцо, 2.3.5 Крышка крепительная, 2.3.6 Крышка смотровая, 2.3.7 Разделительное кольцо, 2.3.8 Гайка торцевая, 2.3.9 Планка стопорная, 2.3.10 Шайба торцевая  |
|  | 2.4 Рычажная передача тележки | 2.4.1 Рычаг вертикальный, 2.4.2 Серьга, 2.4.3 Распорка, 2.4.4 Шайба, 2.4.5 Шплинт, 2.4.6 Подвеска триангеля, 2.4.7 Вали, 2.4.8 Триангель, 2.4.9 Башмак   |
|  | 2.5 Надрессорная балка        |  |
|  | 2.6 Центральное подвешивание  | 2.6.1 Наружная пружин, 2.6.2 Внутренняя пружина, 2.6.3 Фрикционная планка, 2.6.4 Клин  |
| Количество элементов в системе Тележка (ходовые части) – 29    |                               |  |
| Количество элементов в системе Автотормозное оборудование – 63 |                               |  |
| Количество элементов в системе Автосцепное устройство - 21     |                               |  |
| Общее количество сборочных элементов - 126                     |                               |  |

Таким образом, взаимодействие сборочных узлов и деталей вагона в общем случае имеет два основных варианта: при движении состава гружёных вагонов, и при движении состава или отдельного порожнего вагона. И, если при движении гружёного вагона функциональным

общим демпфером является груз, то при движении в порожнем состоянии этот фактор отсутствует [3-7]. Это приводит к увеличению степеней свободы в сочленениях, появлению свободных колебаний (динамики) с дополнительными динамическими нагрузками и повышенным износом [8-14]. Энергетическая составляющая процесса, так или иначе, конвертируется повышенным износом, трансформируясь через процесс динамического взаимодействия [9-19]. Выделим этот процесс для тележки грузового вагона. Схема (рис.1) представлена инженером Кулешовым А.В.).

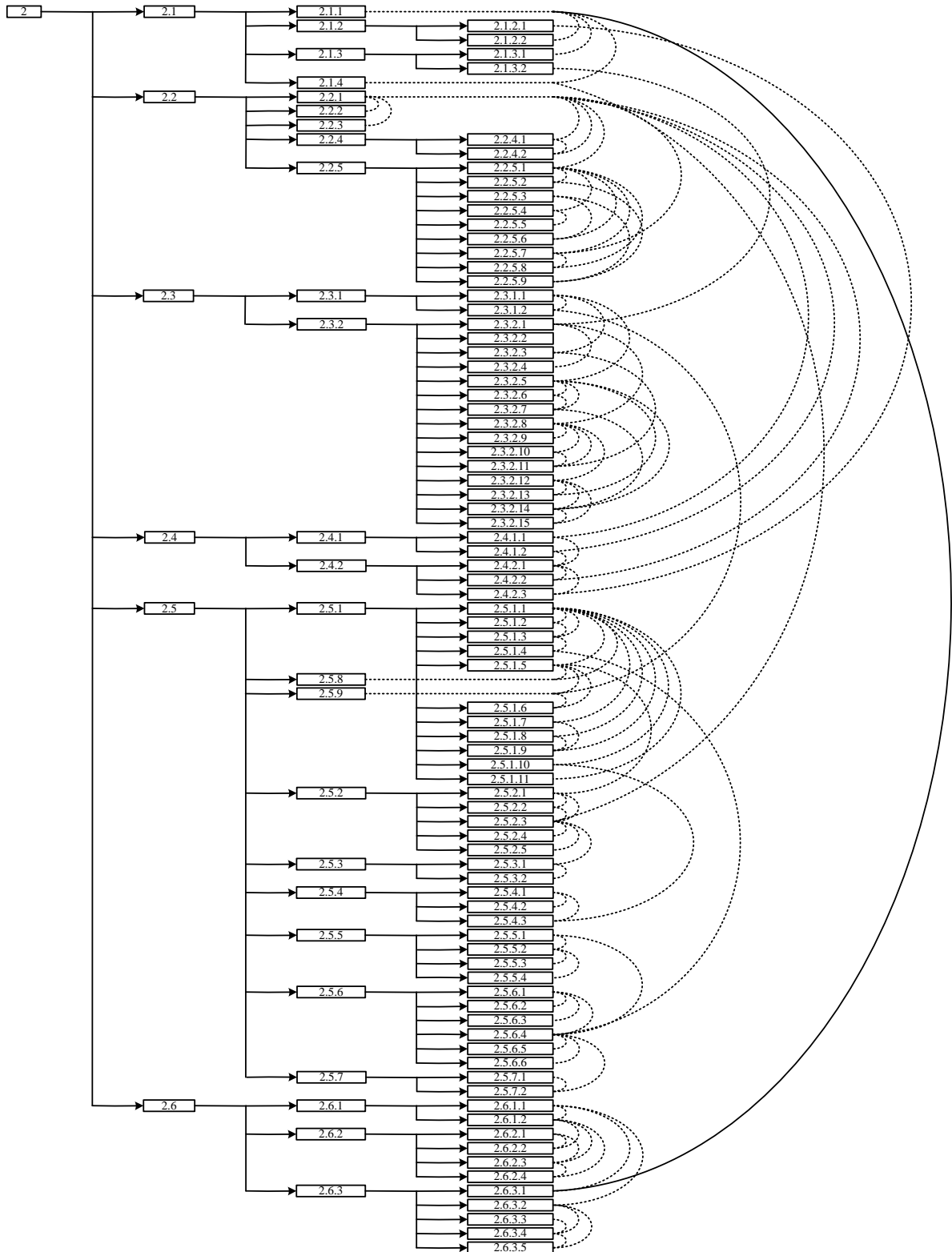
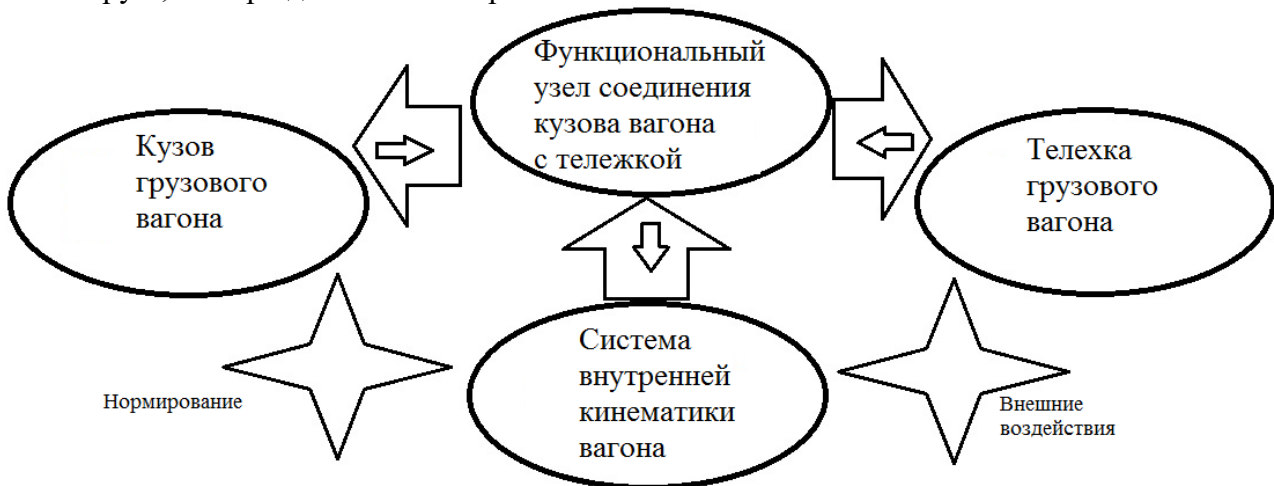


Рис. 1. Структура связей элементов грузовой тележки. Кодировка элементов тележки из табл. 1.

**Прикладной аспект.** Исходя из схемы структуры видно внутриузловое и межузловое взаимодействие и как параметр – демпфирующее воздействие, проявляющееся при отсутствии груза, т.е. при движении в порожнем состоянии.



**Рис. 2.** Схема динамического взаимодействия двух сборочных элементов грузового вагона как системы с межузловым демпфированием

**Заключение.** Рассмотрен конструктивный вариант повышения диссипативности системы узлов и деталей грузового вагона в пределах его внутренней кинематики. Решение задачи снижения уровня износа взаимодействующих сборочных узлов достигается путём объединения деталей в массив со сдвигом резонансной частоты. Как пример предложен вариант более жёсткого сочленения кузова с тележкой грузового вагона.

Реализация поставленной задачи может быть выполнена в разных вариантах, например, выполнения сочленения в виде трёх- опорного пятника (формализованным пятником вместо скользуна, комплектно с адаптивным шкворнем) с расчётной адаптацией при проходе кривых железнодорожного пути, в том числе малого радиуса [24].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Особенности динамического поведения сочлененных вагонов / А. М. Орлова, Н. В. Смирнов, П. В. Козлов // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2010. – № 4. – С. 32–34.
2. Тюньков В.В. Полиуровневая система ситуационной надежности конструкций сооружений при экстремальных динамических воздействиях: Монография. - Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2008.- 180 с.
3. Патент RU 2 714 984 C1, 21.02.2020
4. Патент RU 183177 U1, 12.09.2018.
5. Методические указания по применению статических и кинематических габаритов подвижного состава на железных дорогах-членах ОСЖД колеи 1435 и 1520 мм./ Р 500/4.- Утв. совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 18-21 октября 2016 г. Дата вступления в силу: 21 октября 2016 г. – 86 с.
6. Лашенко М.Н. Регулирование напряжений в металлических конструкциях. Москва: Ленинград, 1966.- 191 с.
7. Kumar, K.A. Indian Railways: Recent Trends in Control Accidents and Safety Measures for Passengers. East Asian Journal of Business Economics, 2014, vol. 2, no. 4, pp. 48-55.
8. Смольянинов, А.В. Сравнительный анализ методик расчета устойчивости колесной пары от схода с рельсов / А.В. Смольянинов, А.Р. Якупов // Транспорт Урала. – 2017. – № 1. – С. 48-54. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-2-48-54
9. Мугинштейн, Л.А. Влияние продольных сил на опасность сходов порожних вагонов в поездах /Л.А. Мугинштейн, Ю.С. Ромен // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 3. – С. 3-6.

10. Bagheri, M., Saccomanno, F., Chenouri, Sh., Fu, L. Reducing the threat of in-transit derailments involving dangerous goods through effective placement along the train consist. *Accident Analysis & Prevention*, vol. 43, is. 3, May 2011, pp. 613-620. DOI: 10.1016/j.aap.2010.09.008
11. Eom, B., Lee, H.S. Assessment of running safety of railway vehicles using multibody dynamics. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 2010, 11, 315-320. DOI: 10.1007/s12541-010-0036-x
12. Gilchrist, A. O. and Brickle, B. V. A re-examination of the proneness to derailment of a railway wheelset. *J. Mech. Eng. Sci.* 1976, vol. 18, no. 3, pp. 131-141
13. Ham, Y., Lee, D., Kwon, S. et al. Continuous measurement of interaction forces between wheel and rail. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2009, vol. 10, pp. 35-39. DOI: 10.1007/s12541-009-0006-3
14. Kim, M.S., Kim, G.Y., Kim, H.T., Koo, J. Theoretical cross-wind speed against rail vehicle derailment considering the cross-running wind of trains and the dynamic wheel-rail effects. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2016, t. 30, is. 8, pp. 3487-3498.
15. Koo, J. A new derailment coefficient considering dynamic and geometrical effects of a single wheelset. *Journal of Mechanical Science and Technology*, t. 28, is. 9, pp. 3483-3498, 2014.
16. Kuzyshin A., Batig A., Sobolevska J., Kostritsa S., Ursulyak L and Dovhaniuk S. Determining the causes of rolling stock derailment from the track using modern research methods. *MATEC Web of Conferences*, 209, 294, 03004. DOI: 10.1051/mateconf/201929403004
17. Liu X., Saat M.R., Barkan Ch. Freight-train derailment rates for railroad safety and risk analysis. *Accident Analysis & Prevention*, vol. 98, January 2017, pp. 1-9. DOI: 10.1016/j.aap.2016.09.012
18. Nadal, M. J. *Locomotive á Vapeur*. Paris, Collection encyclopédie scientifique, bibliothèque de mécanique appliquée et génie, 1908, vol. 186.
19. Weinstock, H. Wheel Climb Derailment Criteria for Evaluation of Rail Vehicle Safety. *ASME Winter Annual Meeting*. 1984, paper no. 84-WA/RT-1, pp. 1-7
20. Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N., Martynenko L.V. Interrelation of the causes of failure of the axle boxes and the malfunction of the automatic couplings (type SA-3). *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway (ISMR'2018)*, Beijing, China, 2018. pp. 261-264
21. Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N., Martynenko L.V. Force loading of wagon during interaction of truck and bodywork in curves paths. *AER-Advances in Engineering Research* (vol. 158). 2018. pp. 130-134.
22. Шурэнцэцэг Баадай, Тюньков В.В. Увеличение ресурса колесных пар при деповском ремонте в ВЧД-2 Улан-Баторской железной дороги. *Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы Девятой международной научно-практической конференции*. – Иркутск: ИрГУПС, 2018. – С. 402-405.
23. Батхуу Шурээ, Тюньков В.В. Влияние износа ходовых частей вагонов в алгоритме обеспечения безопасности подвижного состава. *Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы Девятой международной научно-практической конференции*. – Иркутск: ИрГУПС, 2018. – С. 406-410.
24. Длиннобазовая железнодорожная вагон-платформа для перевозки крупнотоннажных контейнеров/ заявка ИрГУПС на предполагаемое изобретение №2020131535/11(057300) МПК В61D3|20 (2006.01).

## REFERENCES

1. Features of the dynamic behavior of articulated cars / A. M. Orlova, N. V. Smirnov, P. V. Kozlov // *Cars and wagon economy*. - 2010. - No. 4. - P. 32–34.
2. Tyunkov V.V. A multilevel system of situational reliability of structures of structures under extreme dynamic influences: *Monograph*. - Irkutsk: Publishing house BSUEP, 2008. - 180 p.
3. Patent RU 2 714 984 C1, 21.02.2020
4. Patent RU 183177 U1, 12.09.2018.

5. Guidelines for the use of static and kinematic dimensions of rolling stock on the OSJD member railways of 1435 and 1520 mm gauge / R 500 / 4.- Approved. meeting of the OSJD Commission on Infrastructure and Rolling Stock on October 18-21, 2016. Effective date: October 21, 2016 - 86 p.
6. Lashchenko M.N. Regulation of stresses in metal structures. Moscow: Leningrad, 1966.- 191 p.
7. Kumar, K.A. Indian Railways: Recent Trends in Control Accidents and Safety Measures for Passengers. *East Asian Journal of Business Economics*, 2014, vol. 2, no. 4, pp. 48-55.
8. Smolyaninov, A.V. Comparative analysis of methods for calculating the stability of a wheel pair from derailment / A.V. Smolyaninov, A.R. Yakupov // *Transport of the Urals*. - 2017. - No. 1. - P. 48-54. DOI: 10.20291 / 1815-9400-2016-2-48-54
9. Muginstein, L.A. Influence of longitudinal forces on the danger of empty car derailments in trains / L.A. Muginstein, Yu.S. Romen // *Bulletin of VNIIZhT*. - 2011. - No. 3. - S. 3-6.
10. Bagheri, M., Saccomanno, F., Chenouri, Sh., Fu, L. Reducing the threat of in-transit derailments involving dangerous goods through effective placement along the train consist. *Accident Analysis & Prevention*, vol. 43, is. 3, May 2011, pp. 613-620. DOI: 10.1016 / j.aap.2010.09.008
11. Eom, B., Lee, H.S. Assessment of running safety of railway vehicles using multibody dynamics. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 2010, 11, 315-320. DOI: 10.1007 / s12541-010-0036-x
12. Gilchrist, A. O. and Brickle, B. V. A re-examination of the proneness to derailment of a railway wheelset. *J. Mech. Eng. Sci.* 1976, vol. 18, no. 3, pp. 131-141
13. Ham, Y., Lee, D., Kwon, S. et al. Continuous measurement of interaction forces between wheel and rail. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2009, vol. 10, pp. 35-39. DOI: 10.1007 / s12541-009-0006-3
14. Kim, M.S., Kim, G.Y., Kim, H.T., Koo, J. Theoretical cross-wind speed against rail vehicle derailment considering the cross-running wind of trains and the dynamic wheel-rail effects. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2016, t. 30, is. 8, pp. 3487-3498.
15. Koo, J. A new derailment coefficient considering dynamic and geometrical effects of a single wheelset. *Journal of Mechanical Science and Technology*, t. 28, is. 9, pp. 3483-3498, 2014.
16. Kuzyshin A., Batig A., Sobolevska J., Kostritsa S., Ursulyak L and Dovhaniuk S. Determining the causes of rolling stock derailment from the track using modern research methods. *MATEC Web of Conferences*, 209, 294, 03004. DOI: 10.1051 / mateconf / 201929403004
17. Liu X., Saat M.R., Barkan Ch. Freight-train derailment rates for railroad safety and risk analysis. *Accident Analysis & Prevention*, vol. 98, January 2017, pp. 1-9. DOI: 10.1016 / j.aap.2016.09.012
18. Nadal, M. J. *Locomotive & Vapeur*. Paris, Collection encyclopédie scientifique, bibliothèque de mécanique appliquée et génie, 1908, vol. 186.
19. Weinstock, H. Wheel Climb Derailment Criteria for Evaluation of Rail Vehicle Safety. *ASME Winter Annual Meeting*. 1984, paper no. 84-WA / RT-1, pp. 1-7
20. Ermolenko I. Yu., Zheleznyak V.N., Martynenko L.V. Interrelation of the causes of failure of the axle boxes and the malfunction of the automatic couplings (type SA-3). *Proceedings of the 6th International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway (ISMR'2018)*, Beijing, China, 2018. pp. 261-264
21. Ermolenko I. Yu., Zheleznyak V.N., Martynenko L.V. Force loading of wagon during interaction of truck and bodywork in curves paths. *AER-Advances in Engineering Research* (vol. 158). 2018. pp. 130-134.
22. Shurentsetseg Baadai, V.V. Tyunkov. Increasing the resource of wheelsets during depot repairs at VChD-2 of the Ulan Bator Railway. *Transport infrastructure of the Siberian region: Materials of the Ninth International Scientific and Practical Conference*. - Irkutsk: IrGUPS, 2018. -- S. 402-405.
23. Batkhoo Shuree, V. V. Tyunkov. Influence of wear of carriage running gear in the algorithm for ensuring the safety of rolling stock. *Transport infrastructure of the Siberian region: Pro-*

24. Long-base railway flat car for transportation of large-tonnage containers / IrGUPS application for the alleged invention №2020131535 / 11 (057300) МПК В61D3 | 20 (2006.01).

#### **Информация об авторах**

*Владислав Владимирович Тюньков* - д. т. н., профессор, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: tunkov\_vv@irgups.ru.

*Николай Павлович Рычков* – к. т. н., доцент, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: rychkov\_np@irgups.ru.

*Виктория Сергеевна Бузунова* - магистрант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: busunova\_vs@irgups.ru.

*Антон Викторович Ромашов* – аспирант, кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: romachov\_av@irgups.ru.

#### **Authors**

*Vladislav Vladimirovich Tyunkov* - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Wagons and Carriage Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: tunkov\_vv@irgups.ru.

*Nikolai Pavlovich Rychkov* - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Cars and Carriage Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: rychkov\_np@irgups.ru.

*Viktoriya Sergeevna Buzunova* - Master's student of the Department of Carriages and Carriage Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: busunova\_vs@irgups.ru.

*Anton Viktorovich Romashov* - post-graduate student, department of Cars and carriage facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: romachov\_av@irgups.ru.

#### **Для цитирования**

Тюньков В.В., Рычков Н.П., Бузунова В.С., Ромашов А.В. Синтез конструктивных решений на основе демпфирования в пределах внутренней кинематики грузовых вагонов // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2021. – №3(11)\_ – С. 9-16 – DOI: 10.26731/2658-3704.2021.3(11).9-16 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/311-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 01.09.2021)

#### **For citation**

Tyunkov V.V., Rychkov N.P., Buzunova V.S., Romashov A.V. Synthesis of constructive solutions based on damping within the internal kinematics of freight cars // *Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2021. No. 3(11). P. 9-16. DOI: 10.26731/2658-3704.2021.3(11).9-16. [Accessed 01/09/21]