

УДК 629.4.015

Стратегия развития интенсивности износа системы «колесо — рельс» с увеличенной осевой нагрузкой и особенностью конструкции экипажной части

Л. В. Мартыненко¹, Д. П. Кононов², С. В. Кротов³

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

³Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2

Для цитирования: Мартыненко Л. В., Кононов Д. П., Кротов С. В. Стратегия развития интенсивности износа системы «колесо — рельс» с увеличенной осевой нагрузкой и особенностью конструкции экипажной части // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 1. — С. 171–178. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-171-178

Аннотация

Цель: Определение интенсивности износа системы «колесо — рельс» с увеличенной осевой нагрузкой и особенностью конструкции экипажной части. **Методы:** Статистический анализ причинно-следственной связи возникновения факторов, влияющих на динамику вагона при прохождении неровностей пути, углубленный анализ системы взаимодействий между колесом и рельсом. Данный анализ позволяет объективно оценивать причины возникновения существующих проблем в области эксплуатации железнодорожного подвижного состава, описывать возникающие явления с достаточной степенью обоснования, предлагать прогрессивные актуальные решения и возможные перспективные развития железнодорожной отрасли. **Результаты:** Статистические данные технического состояния колесных пар, собранные за несколько лет, показали увеличение дефектов на поверхности катания, что связано не только с особенностями конструкции различных тележек, но и режимом ведения подвижного состава и реакцией рельс. Увеличение скоростей движения подвижного состава, рост объемов и количества перевозимых грузов приводят к повышению интенсивности эксплуатации подвижного состава. Следствием чего становится увеличение нагрузок на детали и узлы вагона и, соответственно, повышение интенсивности износа деталей. **Практическая значимость:** Стратегия развития интенсивности износа позволила определить многофакторность разных параметров, влияющих на возникновение продольных сил в системе «колесо — рельс». Наличие дефектов поверхности катания колес при расчетах в специальном программном продукте показало увеличение сил крипа. Анализ позволил выявить, что дефекты нужно разделить на несколько стандартных групп принадлежности по амплитудным колебаниям.

Ключевые слова: Колесо — рельс, дефекты поверхности катания, динамика вагона, интенсивность износа деталей, система «локомотив — вагон — путь».

Введение

Дефекты на поверхности катания колесных пар создают не только дополнительные колебания вагонов, но и при взаимодействии с рельсами

могут привести к износу рельсового полотна [1–5]. Отсюда возникает проблема взаимодействия системы «колесо — рельс», которая и приводит к последствиям различного характера,

Характеристики кривой на участке Танхой — Кедровая

Название перегона	Километр	Наименование дефекта	Степень отклонения	Диапазон отклонения, мм	Количество неисправностей
Танхой — Кедровая	13 807	Сужение колеи	2	6–15	42
			1	4	1
		Отступление в плане	2	40	350
			3	50	1
		Перекося	2	20	736
			3	25	3
		Уширение колеи	2	8–20	264
Отклонение по уровню	2	25	644		
Просадка	2	25	876		

таким как увеличение динамического воздействия на детали и узлы, рост сил реакции рельса, передающейся обратно вагону, дополнительный боковой износ рельса и др. (таблица).

Исследования, проведенные вагон-лабораториями, и расследование сходов подвижного состава показали, что неровности пути создают напряженное состояние в рельсовых нитях в кривых малого радиуса и переходных участках. Там, по статистике, происходит большее количество сходов [6–8].

Большинство изломов рельсов связано с концентрацией напряжений в переходных участках кривых (рис. 1). Это приводит к возникновению ряда отклонений как в проходящем подвижном составе, так и в земляном полотне. Величина отклонений зависит от вида неисправности, а также от типа тележек и их технического состояния [9].

В процессе исследований было выявлено, что на вершинах неровностей, особенно при односторонних просадках, возникают растягивающие напряжения в головке рельса и сжимающие в подошве. Наибольшие напряжения возникают в кривой при наличии неровностей IV степени [3]. В таких кривых увеличение кромочных напряжений при прочих равных условиях может достигать 50 %, что существенно влияет на допустимые скорости движения, а также может привести к излому рельса при вхождении локомотива на скорости в этот участок. Наибольшее воздействие на путь в плане и профиле оказывают электровозы с большой осевой нагрузкой.

Стратегия развития износа

Для определения стратегии развития износа в системе «колесо — рельс» необходимо провести ряд измерений и расчетов. С помощью специализированного оборудования необходимо проводить контроль состояния рельсового полотна

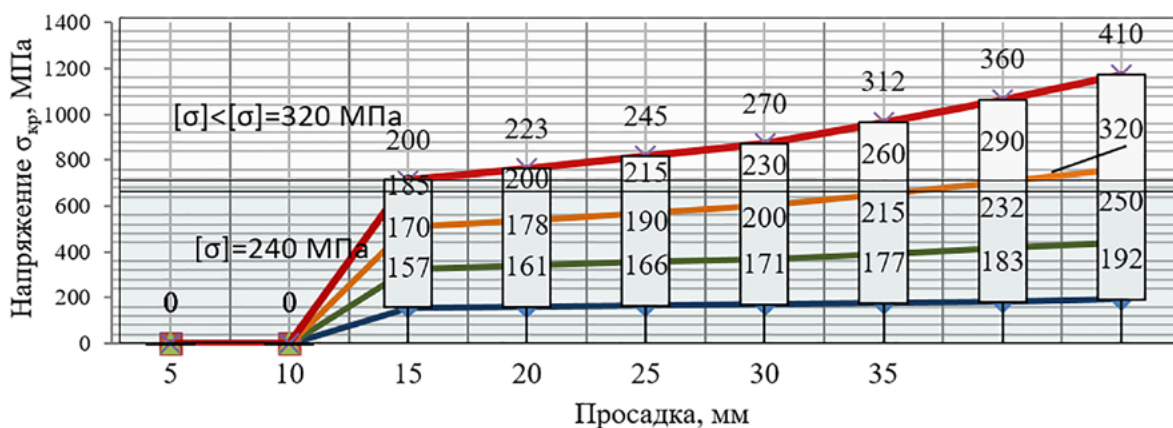


Рис. 1. Анализ кромочных напряжений рельса в кривой радиусом 200–450 м

через определенные периоды времени. Затем нужно исследовать полученные данные с целью выявления изменений за прошедший период времени. При этом устанавливаются первоначальные значения, т. е. значения для новых деталей без износа, и значения для деталей, которые в процессе эксплуатации имеют нормированный или интенсивный износ. Это позволяет сравнить характерные динамические всплески на определенных участках. Рассматривается тот участок пути, где предусмотрен определенный режим движения и скорость строго определена. Затем производится сравнение с действительной скоростью движения для того, чтобы определить добавки к динамической силе при текущем состоянии всей системы.

Сила давления ветра также рассчитывается для определения устойчивости вагона на пути в целом [10]. В процессе движения влияние давления ветра на сход минимально. Боковой ветер может повлиять только тогда, когда центробежная сила, возникающая из-за возвышения наружного рельса, увеличения расстояния между внутренними гранями ободьев колес, скорости движения и других параметров, возрастет и превысит допустимые значения. При этом каждый миллиметр бокового износа рельса увеличивает центробежную силу (рис. 2). Силы, возникающие

в рельсовых подкладках, могут достигать таких высоких значений, что могут сдвинуть рельсовые нити. В результате чего может произойти выброс рельса. Это приводит к уширению колеи, которое может привести к сходу вагона с пути.

Непогашенное ускорение также влияет на безопасность движения [11]. Оно соответствует норме только при отклонениях, которые не приводят к высоким динамическим значениям. При превышении этих показателей нужно менять скоростной режим, т. е. уменьшать скорость движения подвижного состава.

Методы исследования

Результаты обследований железнодорожного пути показали, что во многих случаях параметры рельсовой колеи не соответствовали заданным значениям. К примеру, если максимальный размер возвышения наружного рельса над внутренним составляет 150 мм и более, то движение обязательно закрывается. А если превышение 90 мм при допуске 80 мм, то этот дефект могут случайно пропустить. Тогда возникающее при этом непогашенное ускорение увеличивается в несколько раз и приводит к сходу вагона.

Устойчивость колесной пары зависит от многих факторов. Если рассматривать коэффициент устойчивости, то в нем преобладает влияние боковых и

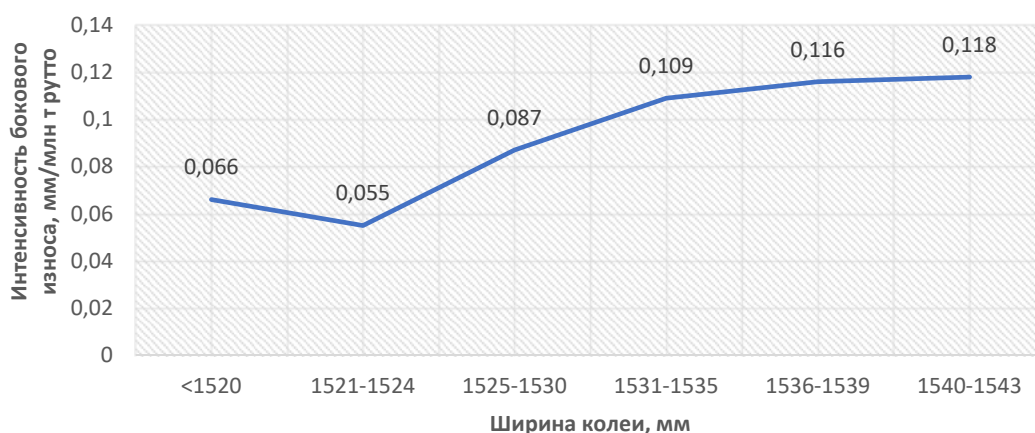


Рис. 2. Интенсивность бокового износа рельса

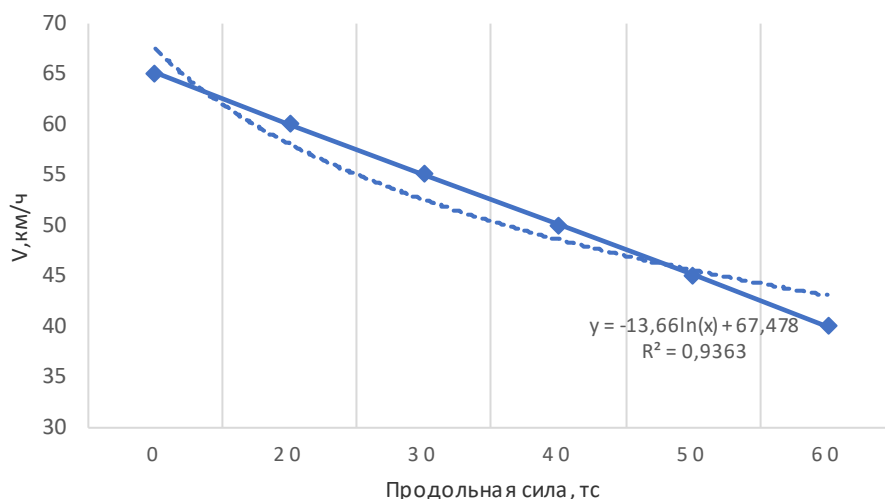


Рис. 3. Возникновение продольной силы при различных скоростях движения

вертикальных сил. Также на устойчивость влияют отклонения размеров колесной пары: каждый миллиметр отклонения повлияет на забегание гребня колеса на головку рельса. Известно, что коэффициент устойчивости не должен быть меньше 1,4, особенно при прохождении кривых участков, где создаются дополнительные силы [12, 13]. Продольные силы не должны превышать 30 тс, так как при наличии в составе порожних вагонов они будут подвержены выжиманию со стороны груженых.

Результаты исследования и их обсуждение

При составлении вагонов в составе необходимо учитывать динамическое воздействие в процессе эксплуатации, поэтому увеличение продольных сил связано не только с тормозными силами локомотива, но и загрузкой вагона, ведь известно, что чем больше нагружен грузовой вагон, тем меньше на него воздействует продольная сила [4]. Тогда возникает вопрос, откуда берутся большие продольные силы, если состав груженный (рис. 3). Для этого нужно изучить тип вагонов в составе: не является ли состав смешанным. Если есть порожние вагоны и они находятся не в хвосте состава, тогда появляется большая динамическая нагрузка, которая может привести к вползанию колеса на головку рельса.

Также на динамику влияет высота автосцепного устройства. Схематично его можно представить как брус, который имеет длину около двух метров, и шарнир в виде клина, который отвечает за поворот вагона в кривом участке пути.

Так как поворот обеспечивает полноценное вхождение в кривой участок пути, то целесообразно рассмотреть состояние автосцепного устройства как основную причину возникновения динамических всплесков в процессе эксплуатации. Клин изнашивается в процессе эксплуатации. Известно, что с изломом клина связаны многие факторы, такие как дополнительный выход автосцепного устройства из-за трещины тяговой полосы хвостовика, отказ поглощающего аппарата и др. При проведении расчетов продольная сила может уменьшить коэффициент устойчивости на 15–50 % в зависимости от приложенной силы от 20 до 40 тс (рис. 4).

Влияние вагонов, особенно порожних, появляется при скоростях от 60 км/ч. Именно при этой скорости начинают развиваться боковые колебания и теряется устойчивость вагона.

Возникновение продольных сил также связано с силами, которые появляются в пятне контакта колеса с рельсом. Силы трения, которые образуются в процессе взаимодействия колеса с

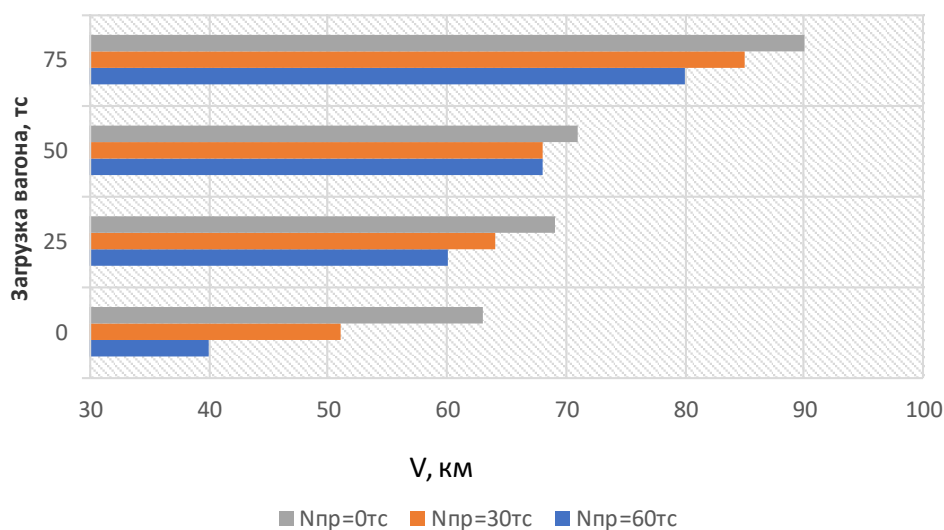


Рис. 4. Возникновение продольных сил в поезде в зависимости от загрузки вагона



Рис. 5. Продольная сила крива на левом колесе с ползуном

рельсом, в идеале не должны иметь отклонений от нормативных значений, иначе это приведет к появлению дополнительных сил, вызванных проскальзыванием и, как следствие, возникновению дефектов на колесе или рельсе. В результате пятно контакта при взаимодействии системы «колесо — рельс» изменится, а силы, влияющие на устойчивость колесной пары в колее, увеличатся. Увеличение сил крива приводит к вилянию подвижного состава, так как нагрузка, приходящаяся на колесо, не изменяется в процессе эксплуатации, а пятно

контакта меняется, откуда следует, что изменение размера контактной поверхности приводит к увеличению амплитудного колебания, которое можно рассмотреть при заданных параметрах в специальных программах для расчета сил при движении подвижного состава (рис. 5) [14].

На данной диаграмме приведен пример расчета сил крива с ползуном на колесе. Видно, что появились дополнительные силы крива, которые приводят к увеличению нагрузки, смещению колесной пары, заваливанию кузова на одну

сторону. Также износ гребня колеса или боковой износ рельса может повлиять на интенсивность развития этих сил.

Заключение

Стратегия развития интенсивности износа, рассмотренная в данной статье, определила многофакторность разных параметров, влияющих на возникновение продольных сил в системе «колесо — рельс». Расчеты дефектов в специальном программном продукте показали увеличение сил крипа. Анализ позволил выявить, что дефекты нужно разделить на несколько стандартных групп принадлежности по амплитудным колебаниям. Ползуны глубиной до 0,15 мм значительного влияния на динамику движения вагона не оказывают, такой ползун «закатывается» в процессе эксплуатации. Ползуны глубиной до 0,4 мм при повторном попадании в зону движения юзом перерастают в ползуны браковочного размера. Ползуны глубиной до 0,8 мм являются причиной образования выщербин, ползуны глубиной более 0,9 мм оказывают серьезный динамический всплеск, что установлено в процессе эксплуатации. Ползуны или навары величиной более 3 мм вызывают резкое увеличение амплитуд напряжений в боковой раме в 1,5–2 раза, что вызывает снижение ресурса боковой рамы на 1,2–1,6 года.

Список источников

1. Аналитический материал о работе подвижного состава за период с 2004 по 2018 г. / Проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства.
2. Боронахин А. М. Мобильная инерциальная система мониторинга рельсового пути / А. М. Боронахин, Е. Д. Бохман // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2011. — № 10. — С. 84–91.
3. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес / М. Ф. Вериго. — М.: ПТКБ ЦПМПС, 1997. — 207 с.

4. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. — М.: Транспорт, 1986. — 560 с.

5. Богданов В. М. Снижение интенсивности износа гребней колес и бокового износа рельсов / В. М. Богданов // Железнодорожный транспорт, 1992. — № 12. — С. 30–34.

6. Галиев И. И. Влияние динамической нагруженности и дефектов роликов буксового подшипника на безопасность движения грузовых вагонов в эксплуатации / И. И. Галиев, В. А. Николаев, Б. Б. Сергеев и др. // Известия Транссиба. — 2013. — № 4(16). — С. 102–110.

7. Галиев И. И. Обеспечение эксплуатационной надежности и повышение безопасности движения грузовых вагонов / И. И. Галиев, Е. А. Самохвалов, Д. Ю. Лукс // II Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава»: сборник трудов. — Омск, 2013. — С. 19–25.

8. Галиев И. И. Причины нарушения безопасности движения грузовых вагонов в эксплуатации / И. И. Галиев, В. А. Николаев, Б. Б. Сергеев и др. // Известия Транссиба. — 2013. — № 3(15). — С. 133–142.

9. Martynenko L. V. Force loading of wagon during interaction of truck and bodywork in curves paths / L. V. Martynenko // Transport research procedure. — 2022. — Vol. 63. — Pp. 65–471. — DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/>.

10. Вершинский С. В. Динамика вагона: учебник для вузов железнодорожного транспорта / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов; под ред. С. В. Вершинского. — 3-е издание. — М.: Транспорт, 1991. — С. 96.

11. Белоусов А. В. Применение рессорного подвешивания с билинейной характеристикой для улучшения динамических качеств грузовых вагонов: дисс. ... канд. техн. наук / А. В. Белоусов. — М., 2000. — 165 с.

12. Ромен Ю. С. Особенности математического моделирования динамических процессов прохождения вагона стрелочного перевода / Ю. С. Ромен, Б. Э. Глюзберг, Е. А. Тимакова и др. // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВЕСТНИК ВНИИЖТ). — 2020. — № 79(3). — С. 119–126. — DOI: 10.21780/2223-9731-2020-79-3-119-126.

13. Romen Yu. S. The stability of the movement of cars on bogies 18-100 / Yu. S. Romen // Russian Railway Science Journal. — 2019. — Vol. 78. — Iss. 3. — Pp. 149–154. — DOI: 10.21780/2223-9731-2019-78-3-149-154.

Дата поступления: 10.01.2025

Решение о публикации: 27.02.2025

Контактная информация:

МАРТЫНЕНКО Любовь Викторовна — соискатель;
liuba.martinenko@yandex.ru

КОНОНОВ Дмитрий Павлович — д-р техн. наук, доц.;;
d_kononov@mail.ru

КРОТОВ Сергей Викторович — канд. техн. наук, доц.;;
svk-19587@yandex.ru

Strategy for the Wheel-Rail Wear Rate Development with Increased Axial Load and a Car Underframe Specific Design

L. V. Martynenko¹, D. P. Kononov², S. V. Krotov³

¹Irkutsk State Transport University, 15, Chernyshevskogo Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation

²Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

³Rostov State Transport University, 2, Rostov Strelkovogo Polka Narodnogo Opolchenia sq., Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation

For citation: Martynenko L. V., Kononov D. P., Krotov S. V. Strategy for the Wheel-Rail Wear Rate Development with Increased Axial Load and a Car Underframe Specific Design // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 1, pp. 171–178. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-171-178

Summary

Purpose: To determine the wheel-rail wear rate with increased axial load and a car underframe specific design.

Methods: Statistical analysis of the cause-and-effect relationship of the factors affecting the dynamics of a train car passing over the track irregularities; in-depth analysis of the wheel-rail interaction system. This analysis allows assessing the causes of existing problems in the field of railway rolling stock operation as well as substantiating emerging issues, and proposing relevant up-to-date solutions and promising developments in the railway industry. **Results:** Statistical data on the wheelset technical condition collected over several years have shown an increase in wheel rolling surface defects, which is due to not only a variety of the underframe design features, but also rolling stock driving behaviour and rail response. Increased speeds of rolling stock movement and growth in the transported goods volume and quantity lead to an intensified rolling stock operation. Hence, increased loads on the train car units and components, and, respectively, increased wear intensity of the parts. **Practical significance:** The strategy for the wear intensity development made it possible to define various parameters causing longitudinal forces in the wheel-rail system. The software calculations have demonstrated that wheel rolling surface defects cause increased creep forces. The analysis has revealed that the defects can be divided into several standard groups according to amplitude fluctuations.

Keywords: Wheel-rail, rolling surface defects, car dynamics, wear rate of parts, locomotive-car-track system.

References

1. Analiticheskiy material o rabote podvizhnogo sostava za period s 2004 po 2018 g. [Analytical material on the

operation of rolling stock for the period from 2004 to 2018]. *Proektno-konstruktorskoe byuro vagonnogo khozyaystva* [Design Bureau of Wagon Facilities]. (In Russian)

2. Boronahin A. M., Bohman E. D. Mobil'naya inercial'naya sistema monitoringa rel'sovogo puti [Mobile inertial system for monitoring the track]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo elektrotekhnicheskogo universiteta "LETI" SPbGETU "LETI"* [Bulletin of the St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" ETU "LETI"]. 2011, Iss. 10, pp. 84–91. (In Russian)
3. Verigo M. F. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava v krivykh malogo radiusa i bor'ba s bokovym iznosom rel'sov i grebney koles* [Interaction of the track and rolling stock in small-radius curves and the fight against lateral wear of rails and wheel flanges] Moscow: PTKB CPMPS Publ., 1997, 207 p. (In Russian)
4. Verigo M. F., Kogan A. Ya. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava* [Interaction of the track and rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1986, 560 p. (In Russian)
5. Bogdanov V. M. Snizhenie intensivnosti iznosa grebney koles i bokovogo iznosa rel'sov [Reducing the intensity of wheel flange wear and lateral wear of rails]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport]. 1992, Iss. 12, pp. 30–34. (In Russian)
6. Galiev I. I., Nikolaev V. A., Sergeev B. B. et al. Vliyanie dinamicheskoy nagruzhennosti i defektov rolikov buksovogo podshipnika na bezopasnost' dvizheniya gruzovykh vagonov v ekspluatatsii [Influence of dynamic loading and defects of axle box bearing rollers on the safety of freight cars in operation]. *Izvestiya Transsiba* [Transsib News]. 2013, Iss. 4(16), pp. 102–110. (In Russian)
7. Galiev I. I., Samohvalov E. A., Luks D. Yu. Obespechenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti i povyshenie bezopasnosti dvizheniya gruzovykh vagonov [Ensuring operational reliability and improving the safety of freight car traffic]. *II Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem "Tekhnologicheskoe obespechenie remonta i povyshenie dinamicheskikh kachestv zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava": sbornik trudov* [II All-Russian scientific and technical conference with international participation "Technological support for repair and improving the dynamic qualities of railway rolling stock": collection of papers]. Omsk, 2013, pp. 19–25. (In Russian)
8. Galiev I. I., Nikolaev V. A., Sergeev B. B. et al. Prichiny narusheniya bezopasnosti dvizheniya gruzovykh vagonov v ekspluatatsii [Causes of violation of freight car traffic safety during operation]. *Izvestiya Transsiba* [Transsib News]. 2013, Iss. 3(15), pp. 133–142. (In Russian)
9. Martynenko L. V. Force loading of wagon during interaction of truck and bodywork in curves paths. *Transport research procedure*, 2022, vol. 63, pp. 465–471. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/>.
10. Vershinskiy S. V., Danilov V. N., Khusidov V. D. *Dinamika vagona: uchebnik dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta; pod red. S. V. Vershinskogo; 3-e izdanie* [Car dynamics: a textbook for higher education institutions of railway transport; edited by S. V. Vershinsky; 3rd edition]. Moscow: Transport Publ., 1991, p. 96. (In Russian)
11. Belousov A. V. *Primenenie resornogo podveshivaniya s bilineynoy kharakteristikoy dlya uluchsheniya dinamicheskikh kachestv gruzovykh vagonov: diss. ... kand. tekhn. nauk* [Application of spring suspension with bilinear characteristics to improve the dynamic qualities of freight cars: diss. ... Cand. of Engineering Sciences]. Moscow, 2000, 165 p. (In Russian)
12. Romen Yu. S., Glyuzberg B. E., Timakova E. A. et al. Osobennosti matematicheskogo modelirovaniya dinamicheskikh protsessov prokhozheniya vagonom strelochnogo perevoda [Features of mathematical modeling of dynamic processes of a car passing through a turnout]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (VESTNIK VNIIZhT)* [Bulletin of the Research Institute of Railway Transport (VESTNIK VNIIZhT)]. 2020, Iss. 79(3), pp. 119–126. DOI: 10.21780/2223-9731-2020-79-3-119-126. (In Russian)
13. Romen Yu. S. The stability of the movement of cars on bogies 18-100. *Russian Railway Science Journal*, 2019, vol. 78, Iss. 3, pp. 149–154. DOI: 10.21780/2223-9731-2019-78-3-149-154.

Received: January 10, 2025

Accepted: February 27, 2025

Author's information:

Lyubov' V. MARTYNENKO – the Applicant;

liuba.martinenko@yandex.ru

Dmitry P KONONOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor;

d_kononov@mail.ru

Sergey V. KROTOV — PhD in Engineering, Associate

Professor; svk-19587@yandex.ru