

УДК 629.4.015

Совершенствование системы расследования аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте

Л. В. Мартыненко¹, Д. П. Кононов²

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15

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

Для цитирования: Мартыненко Л. В., Кононов Д. П. Совершенствование системы расследования аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 4. С. 866–873. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-866-873

Аннотация

Цель: повышение безопасности движения железнодорожного подвижного состава в кривых и на горно-перевальных участках пути. **Методы:** приведены методы расследования аварийных ситуаций при перевозке железнодорожных грузов, а также основные характеристики, влияющие на подвижной состав. Существенную роль в обеспечении безопасности движения играет выявление причин аварийных ситуаций, которые основываются на данных, полученных при обследовании участков с помощью специальных лабораторий. После получения данных проводится соответствующий анализ системы «локомотив — вагон — путь» в каждом классе этой системы и рассчитывается отношение отклонений в этих классах к факту схода вагона или другим аварийным ситуациям. **Результаты:** при обследовании места происшествия экспертная комиссия по расследованию должна установить факт схода и выполнить несколько задач: исследование повреждений вагона и пути, степень данных повреждений, анализ нарушений правил эксплуатации, изучение стандартных изломов и т. д. Для определения данного схода необходимо собрать большую статистическую базу и разделить ее на основные отклонения по разным классам всей системы «локомотив — вагон — путь». **Практическая значимость:** существенное значение для обеспечения безопасности движения приобретают расчетно-эмпирическая оценка и классификация опасности различных отклонений характеристик состояния системы, а также разработка математических моделей указанных процессов и ситуаций. Это позволяет повысить точность определения степени причастности вагона к возникновению аварийной ситуации в кривых и на горно-перевальных участках.

Ключевые слова: безопасность движения, аварийные ситуации, система «локомотив — вагон — путь», горно-перевальные участки

Введение

В настоящее время недостаточно полно учитывается влияние нарушений скоростного режима [1–4]. В результате возникают аварийные ситуации, причиной которых является режим ведения локомотива. При рассмотрении скоростемерной ленты выявлен ряд факторов,

которые могли повлечь за собой не только нарушение режима движения, но и увеличение продольных сил в автосцепном устройстве при рывках или разных случаях торможения.

Так как автосцепное устройство отвечает за сжимающие и растягивающие силы, то

техническое состояние данного узла должно содержаться в пределах нормы, иначе может пострадать весь состав или отдельно взятые вагоны. Степень причастности локомотива рассматривается только в скоростном режиме [5]. Но скорость — это один из факторов. За ним идет динамика движения, которая появляется при взаимодействии вагона и пути. В результате в процессе эксплуатации могут не только развиваться различные отклонения в параметрах вагона и пути, но и появиться такие силы, которые увеличивают износ деталей и узлов и, соответственно, процент аварийных ситуаций [6–8]. Поэтому на сегодняшний день актуально решать проблему в целом, а рассмотрение отдельных проблем, связанных с эксплуатацией, объединить в одно целое, то есть в одну систему, но при этом создать разные классы и их параметры для набора статистических данных и дальнейшего анализа на основе собранного материала [9]. Данная методика поможет определить причастность каждого параметра нескольких классов и, соответственно, определить причастность класса и параметров данного класса к сходу.

Методика определения аварийных ситуаций

Расследованиями сходов подвижного состава в грузовых поездах занимается Ситуационный центр мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями ОАО «РЖД» (ЦЧС). Контрольные сведения для расследований чрезвычайных ситуаций предоставляются организациями по обеспечению данных объектов, а конкретно тремя службами: пути и зданий для «содержания и охранения» железнодорожного пути, подвижного состава и тяги, движения или эксплуатации.

Эти службы предоставляют полную информацию по объектам для оценки причастности

к аварийной ситуации. Объектами данной системы являются вагон, локомотив и путь, поэтому в основе расследований сходов используется методика, которая учитывает очевидные отказы элементов технических систем (излом, сдвиги и т. д.), и результаты экспертиз могут носить односторонний характер [10]. Сходы всегда относят к определенной службе, соответственно, к определенному объекту, поэтому окончательное заключение по сходам является некорректным, так как не рассматривается взаимосвязь этих объектов между собой. Предложенное совершенствование методов расследований заключается не только в выявлении причастности одного из рассматриваемых объектов, но и в определении степени отношения каждого объекта к аварийной ситуации. В расследованиях аварийных ситуаций необходимо рассмотреть полностью систему «локомотив — вагон — путь», так как подразделения, которые имеют отношение к данному событию, отвечают за нарушения или отклонения в процессе эксплуатации.

В настоящее время увеличение количества сходов (рис. 1) показывает, что действующие методы расследования не решают проблему, а только определяют причастность определенной службы к аварийной ситуации. Данная статистика подтверждает, что требуется внедрение новых технологий, которые смогут не только повысить качество расследования, но и в будущем решить проблему по повышению безопасного ведения подвижного состава на сложных участках пути.

Во многих случаях, когда расследуют тот или иной сход, не могут найти явных отказов или отклонений [11]. Тогда экспертное заключение основывается на обычном нарушении правил эксплуатации, которое на самом деле имеет минимальное значение в сходе и не может привести к аварийным ситуациям. Эти

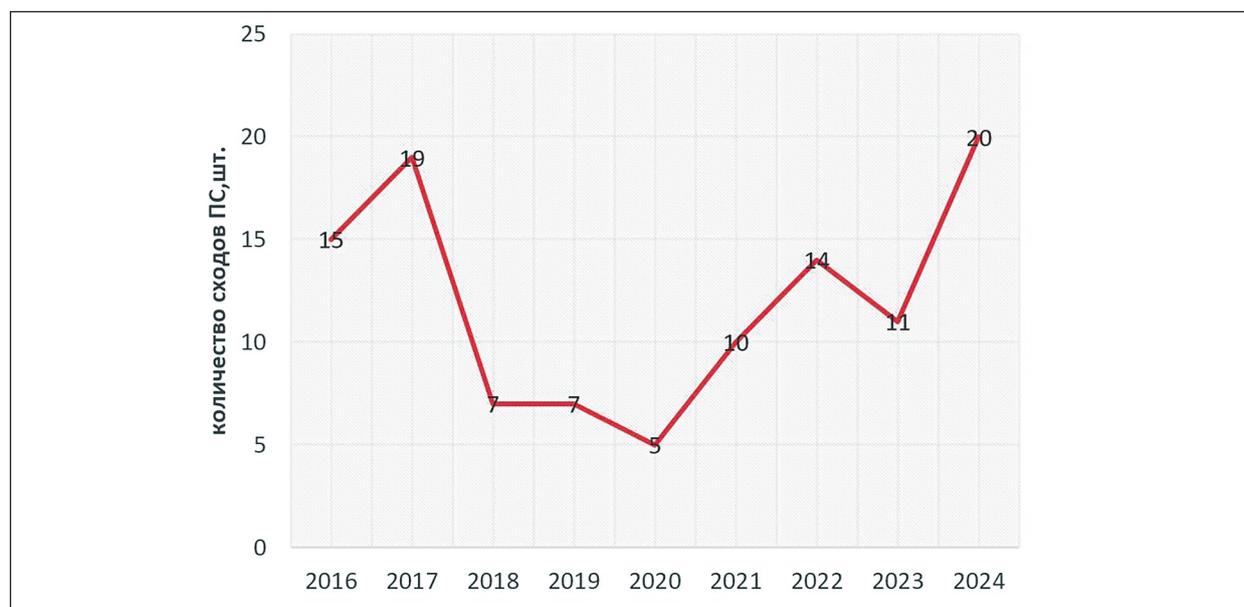


Рис. 1. Количество сходов за 2016–2024 годы

заклучения очень часто приводят к повторным событиям, повлекшим за собой аварийные ситуации или сходы подвижного состава. В связи с этим предлагается рассматривать сочетание неисправностей одной группы причин с другой. Данное сочетание является особым видом отказов, при которых должны выполняться определенные нормы при ведении подвижного состава, так как любая неисправность представляет собой изменение скоростей и выделение опасных участков при их прохождении, а также техническое состояние всей системы. Система включает в себя те объекты, по причине отклонений в которых происходит сход подвижного состава. Объектами сложной системы являются «локомотив», «вагон», «путь» и, соответственно, техническое состояние узлов и деталей, которые по отдельности могут работать в штатном режиме, а в сочетании представлять особую опасность как для подвижного состава в целом, так и для окружающей среды и жизни людей [12, 13]. Совершенствование методики также включает в себя разделение видов технической составляющей на классы.

Методы исследования

При исследовании аварийных ситуаций параметры подвижного состава и пути обозначаются p_n^k . Степени причастности к каждому сходу и классу схода определяются числовыми значениями и имеют относительные меры, определяющие степень расположения объектов по значимости к аварийной ситуации [14]. Также учитывается ядро класса, то есть то значение, которое показывает максимальное значение параметров в эксплуатации, и при выходе за эти значения наступает аварийная ситуация.

В предлагаемой методике определения причин схода используется алгоритм оценки состояния каждого класса отдельно и в сочетании между собой, что позволяет существенно уточнить результаты расследования, а также выявить различные неисправности, сочетания которых являются наиболее опасными при движении на горно-перевальных участках.

В соответствии с используемой методикой относительная мера близости d движущегося подвижного состава к аварийному состоянию

определяется для каждого класса причин равенством:

$$d(C_i, K_j) = \sqrt{\left[\sum_1^{m_j} (p_n - k_n)^2 / k_n^2 \right] / m_j}, \quad (1)$$

где C_i — рассматриваемый сход;

K_j — классы причин схода (K_1 — класс причин, определяемых состоянием пути, K_2 — класс причин, определяемых состоянием вагона, K_3 — класс причин, определяемый отклонениями режима движения локомотива);

p_n — значения параметров состояния элементов класса;

k_n — критическое (предаварийное) значение параметра состояния;

m_j — число параметров в каждом из введенных классов причин;

n — число параметров рассматриваемого класса схода.

Существенными элементами подхода, направленного на выяснение причин сходов, являются соотношения, определяющие доли участия каждого класса причин на процесс схода [15, 16]. Практический интерес представляет также оценка опасности сочетания отдельных отклонений качественно различного типа.

В процессе анализа причин схода для каждого из рассматриваемых классов определяются характеристики, показывающие степень причастности того или иного класса к сходу — q_n, q_6, q_l :

$$\begin{aligned} q_n &= \frac{d_l d_6}{d_n d_6 + d_n d_l + d_6 d_l}, \\ q_6 &= \frac{d_n d_l}{d_n d_6 + d_n d_l + d_6 d_l}, \\ q_l &= \frac{d_n d_6}{d_n d_6 + d_n d_l + d_6 d_l}. \end{aligned} \quad (2)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Обработка с указанных позиций результатов расследования аварийных ситуаций на ВСЖД в 2016–2024 годах показала, что наиболее опасными участками являются те, которые имеют отклонения не только в численных значениях, но и в тех параметрах, которые влияют на вхождение локомотива в данный участок, особенно если он является переходным, так как большинство сходов происходит на первых метрах переходных кривых. Такое сочетание необходимо учитывать при разработке ограничений скоростного режима движения на горно-перевальных участках пути.

Для оценки степени опасности различных отклонений было осуществлено их ранжирование в соответствии с результатами оценки выявленных отклонений [17, 18]. Результаты показывают, что ранжирование коррелирует с линейным ростом отклонений от нормативных значений, что указывает на эффективность оценки опасности выявленных отклонений на основе анализа рассматриваемых норм близости.

На рис. 2 представлен график зависимости мер близости от степени опасности (нумерации ранжирования) выявленных отклонений. Для оценки степени опасности различных отклонений было осуществлено их ранжирование в соответствии с результатами оценки выявленных отклонений.

Соотношение (2) представляет собой математическую модель, которая определяет степень причастности классов к сходу. Анализ аварийных ситуаций рассчитывался с помощью данных формул. Также были рассчитаны параметры, повлиявшие на сход, — непогашенное ускорение, которое меняется в большую сторону из-за отклонений в пути, а конкретно — несоответствие возвышения наружного рельса

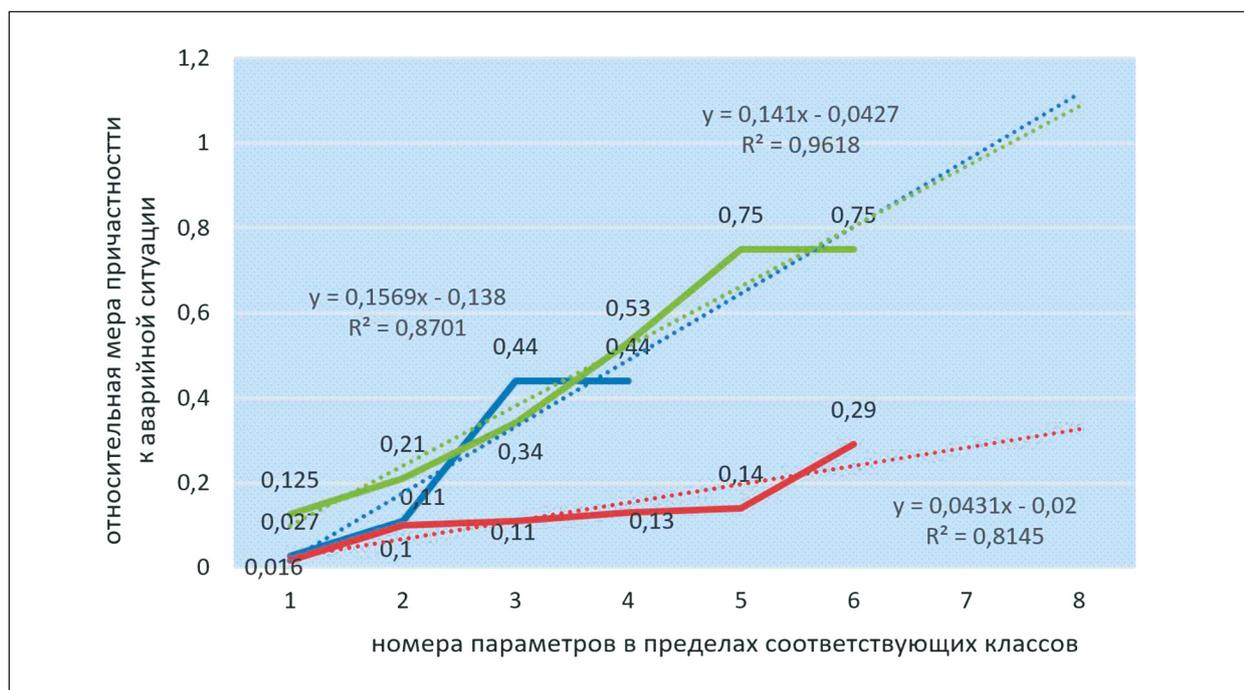


Рис. 2. Расчетно-эмпирические данные об отклонениях параметров в различных классах причин схода

над внутренним и малые длины переходных участков малого радиуса.

Заключение

Полученные результаты исследования возникновения аварийных ситуаций показали, что основные причины заложены внутри системы «локомотив — вагон — путь» и связаны не только с отклонениями, но и с взаимодействием этих данных внутри класса и всей системы в целом. Для повышения безопасности рассмотрены рекомендации по созданию контроля подвижного состава в процессе эксплуатации.

Библиографический список

1. Рудановский В.М. Методика определения причин сходов подвижного состава в условиях неопределенностей // Вестник ВНИИЖТ. 2011. № 4. С. 10–15.

2. Грачева Л.О., Певзнер В.О., Анисимов П.С. Показатели динамики и воздействия на путь грузовых четырехосных вагонов при различных износах тележек и отступлениях от норм содержания в прямых участках пути // Сб. науч. тр. ВНИИЖТ. Вып. 549. М.: Транспорт, 1976. С. 4–25.

3. Ромен Ю.С., Николаев В.Е. Исследование влияния детерминированных неровностей пути в плане на уровень боковых сил при движении грузового вагона // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Киев: Наукова думка, 1980. С. 40–42.

4. Мельниченко О. В. Протокол эксплуатационных тягово-энергетических испытаний электровоза переменного тока ВЛ80Р № 1829 по Договору ИрГУПС с ОАО «РЖД» № 726/493 от 08.06.2010.

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

6. Ершков О. П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых // Тр. ЦНИИ МПС. Вып. 192. М.: Трансжелдориздат, 1960. С. 5–58.

7. Желнин Г.Г., Певзнер В.О., Шинкарев Б.С. Исследование зависимостей между показателями динамики подвижного состава и воздействия его на путь // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 542. М.: Транспорт, 1975. С. 84–92.
8. Правила тяговых расчетов для поездной работы / П. Т. Гребенюк [и др.] // М.: Транспорт, 1985. 287 с.
9. Комиссаров А. Ф. Итоги работы проектно-конструкторского бюро вагонного хозяйства за 2018 г. // Вагоны и вагонное хозяйство. Приложение к журналу «Локомотив». 2019. № 1(49). С. 5–6.
10. Черняк Ю. В., Матвиенко А. С. Определение силы тяги локомотива при производстве тягово-энергетических испытаний // Сборник научных трудов. М.: Дон I ЗТ, 2007. Т 3. № 12. С. 116–126.
11. Жуков И. В. Автономное устройство регистрации расширяет возможности испытательных поездов (Вагон тормозоиспытательный) // Вагоны и вагонное хозяйство. Приложение к журналу «Локомотив». 2019. № 1(49). С. 40–41.
12. Лукин В. В., Анисимов В. Н., Котуранов В. Н. Конструирование и расчет вагонов: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 688 с.
13. Кузович В. М. Динамическая нагруженность специализированных вагонов в криволинейных участках пути: дисс. ... канд. техн. наук. М.: 2010. 211 с.
14. Кудрявцева Н.Н. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 572. М.: Транспорт, 1977. 144 с.
15. Доронин И.С. Расчет шейки оси колесной пары на продольную нагрузку // Вестник ВНИИЖТ, 1978. С. 33–34.
16. Кудрявцев Н. Н. Исследования динамики не-подрессоренных масс вагонов // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 287. М.: Транспорт, 1965. 168 с.
17. Мямлин С.В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. М.: Новая идеология, 2002. 240 с.
18. Скалов А. Д., Коваль В. А. Методика исследования вертикальных и боковых сил при износных испытаниях рельсов // Вестник ВНИИЖТ, 1980. № 6. 216 с.

Дата поступления: 08.10.2024

Решение о публикации: 28.10.2024

Контактная информация:

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

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

Improvement of the system of investigation of emergency situations in railway transport

L.V. Martynenko¹, D. P. Kononov²

¹ Irkutsk State Transport University, 15, Chernyshevskogo st., Irkutsk, 664074, Russia

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

For citation: *Martynenko L. V., Kononov D. P.* Improvement of the system of investigation of emergency situations in railway transport // Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 4. P. 866–873. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-866-873

Abstract

Purpose: to improve the safety of railway rolling stock in curves and on mountain-pass sections of the track. **Methods:** the methods of investigating emergency situations during the transportation of railway goods, as well as the main characteristics affecting the rolling stock, are given. An essential role in ensuring traffic safety is played by identifying the causes of emergency situations, which are based on data obtained during site surveys using special laboratories. After receiving the data, an appropriate analysis of the locomotive-wagon-track system is carried out in each class of this system and the ratio of deviations in these classes to the fact of a derailment or other emergency situations is calculated. **Results:** when examining the scene of the accident, the commission for the investigation of emergency situations must establish the fact of the descent. Establishing the fact of a derailment during an investigation by an expert commission may include several tasks: investigation of damage to the car and track, the extent of these damages, analysis of violations of operating rules, study of standard fractures, etc. To determine this derailment, it is necessary to collect a large statistical database and divide it into the main deviations in different classes of the entire locomotive-wagon system the way". **Practical importance:** the computational and empirical assessment and classification of the danger of various deviations in the characteristics of the system state, as well as the development of mathematical models of these processes and situations, are essential for ensuring traffic safety. This makes it possible to increase the accuracy of determining the degree of involvement of the car in the occurrence of an emergency situation in curves and in mountain-pass sections.

Keywords: traffic safety, emergency situations, the locomotive-wagon-way system, mining and transshipment sites

References

1. Rudanovskij V.M. Metodika opredeleniya prichin skhodov podvizhnogo sostava v usloviyah neopredelennostej // Vestnik VNIIZHT. 2011. No. 4. S. 10–15.
2. Gracheva L.O., Pevzner V.O., Anisimov P.S. Pokazateli dinamiki i vozdeystviya na put' gruzovyh chetyrekhosnyh vagonov pri razlichnyh iznosah telezhek i otstupleniyah ot norm sodержaniya v pryamyh uchastkah puti // Sb. nauch. tr. VNIIZHT. Vyp. 549. M.: Transport, 1976. S. 4–25.
3. Romen Yu.S., Nikolaev V.E. Issledovanie vliyaniya determinirovannyh nerovnostej puti v plane na uroven' bokovyh sil pri dvizhenii gruzovogo vagona // Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta. Kiev: Naukova dumka, 1980. S. 40–42.
4. Mel'nichenko O. V. Protokol ekspluatatsionnyh tyagovo-energeticheskikh ispytaniy elektrovoza pere-mennogo toka VL80R No. 1829 po Dogovoru IrGUPS s OAO "RZHD" No. 726/493 ot 08.06.2010.
5. Verigo M.F., Kogan A.YA. Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava. M.: Transport, 1986. 560 s.
6. Ershkov O.P. Raschet rel'sa na dejstvie bokovyh sil v krivyh // Tr. CNII MPS. Vyp. 192. M.: Transzheldorizdat, 1960. S. 5–58.
7. ZHelmin G.G., Pevzner V.O., SHinkarev B.S. Issledovanie zavisimostej mezhdru pokazatelyami dinamiki podvizhnogo sostava i vozdeystviya ego na put' // Tr. VNIIZHT. Vyp. 542. M.: Transport, 1975. S. 84–92.
8. Pravila tyagovyh raschetov dlya poezdnoj raboty / P. T. Grebenyuk [i dr.] // M.: Transport, 1985. 287 s.
9. Komissarov A.F. Itogi raboty proektno-konstruktorskogo byuro vagonnogo hozyajstva za 2018 g. // Vagony i vagonnoe hozyajstvo. Prilozhenie k zhurnalu "Lokomotiv". 2019. No. 1(49). S. 5–6.
10. Chernyak Yu.V., Matvienko A.S. Opredelenie sily tyagi lokomotiva pri proizvodstve tyagovo-energeticheskikh ispytaniy // Sbornik nauchnyh trudov. M.: Don I ZT, 2007. T 3. No. 12. S.116–126.
11. ZHukov I.V. Avtonomnoe ustrojstvo registracii rasshiraet vozmozhnosti ispytatel'nyh poezdov (Vagon tormozoispytatel'nyj) // Vagony i vagonnoe hozyajstvo. Prilozhenie k zhurnalu "Lokomotiv". 2019. No. 1(49). S. 40–41.

12. Lukin V. V., Anisimov V. N., Koturanov V. N. *Konstruirovaniye i raschet vagonov: uchebnik. 2-e izd., pererab. i dop.* M.: FGOU "Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte", 2011. 688 s.
13. Kuzovich V. M. *Dinamicheskaya nagruzhennost' specializirovannyh vagonov v krivolinejnyh uchastkah puti: diss. ... kand. tekhn. nauk.* M., 2010. 211 s.
14. Kudryavceva N. N. *Dinamicheskie nagruzki hodovyh chastej gruzovyh vagonov // Tr. VNIIZHT. Vyp. 572.* M.: Transport, 1977. 144 s.
15. Doronin I. S. *Raschet shejki osi kolesnoj pary na prodol'nyuyu nagruzku // Vestnik VNIIZHT, 1978. S. 33–34.*
16. Kudryavcev N. N. *Issledovaniya dinamiki nepodressorenyh mass vagonov // Tr. VNIIZHT. Vyp. 287.* M.: Transport, 1965. 168 s.
17. Myamlin S.V. *Modelirovaniye dinamiki rel'sovyh ekipazhej.* M.: Novaya ideologiya, 2002. 240 s.
18. Skalov A.D., Koval' V.A. *Metodika issledovaniya vertikal'nyh i bokovyh sil pri iznosnyh ispytaniyah rel'sov // Vestnik VNIIZHT, 1980. No. 6.* 216 s.

Received: 08.10.2024

Accepted: 28.10.2024

Author's information:

Lyubov' V. MARTYNENKO — the applicant;

liuba.martinenko@yandex.ru

Dmitry P KONONOV — Dr. Sci. in Engineering,

Professor; d_kononov@mail.ru