

17. Olentsevich V.A., Astashkov N.P. Analiz rabochikh rezhimov sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya pri ispol'zovanii intellektual'noi sistemy avtomatizirovannogo vozhdeniya poezdov povyshennoi massy i dliny [Analysis of the working modes of the traction electric supply system using the intelligent system of automated driving of heavy-weight and long-length trains]. *Vysokoproizvoditel'nye vychislitel'nye sistemy i tekhnologii* [High-performance computing systems and technologies], 2020. Vol. 4. No. 2. Pp. 66-73.

18. Volchek T.V., Astashkov N.P. Povyshenie nadezhnosti fazorasshchepitelei elektrovozov peremennogo toka [Increased reliability of phase splitters of AC electric locomotives]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region], 2017. Vol. 2. Pp. 456-461.

19. Kochetkov A.V., Khudonogov A.M., Astashkov N.P., Shramko S.G. Ustanovka dlya sushki izolyatsii obmotki tyagovykh elektricheskikh mashin [Installation for drying the winding of traction electric machines]. Patent for invention RU 2553978 C2, 20.06.2015. Application No. 2013147972/07 dated October 28, 2013.

Информация об авторах

Асташков Николай Павлович – к. т. н., доцент; кафедры управление эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: astashkovnp@yandex.ru

Оленцевич Виктория Александровна – к. т. н., доцент; доцент кафедры управление эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olencevich_va@irgups.ru

Белоголов Юрий Игоревич – к. т. н., доцент; доцент кафедры управление эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pr-mech@mail.ru

Information about the authors

Nikolai P. Astashkov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor; Associate Professor of the Subdepartment of Operations Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: astashkovnp@yandex.ru

Victoria A. Olentsevich – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor; Associate Professor of the Subdepartment of Operations Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: olencevich_va@irgups.ru

Yuriy I. Belogolov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor; Associate Professor of the Subdepartment of Operations Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pr-mech@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2021.1(69).241-247

УДК 656.222.4

Оценка качественных и количественных характеристик системы «локомотив – вагон – путь» с использованием математической модели для определения вероятности схода вагонов

В. Н. Железняк, Л. В. Мартыненко ✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ liuba.martinenko@yandex.ru

Резюме

В статье рассмотрены меры, направленные на повышение безопасности движения подвижного состава за счет рационального использования информации, полученной с комплекса ходовых (поездных) экспериментальных лабораторий Восточно-Сибирской железной дороги: тягово-энергетической, путеизмерительной, тормозо-испытательной. Каждый из названных источников позволяет получить реальную и достоверную на данный момент информацию о состоянии технических систем подвижного состава и пути. Для упрощения поиска неисправностей, которые могут инициировать сход, предлагается в созданной логической взаимосвязи системы «локомотив – вагон – путь» разделить ее условно на отдельные три части для выявления нарушений при эксплуатации, которые могут быть причастны к сходу. Обнаруженные отклонения параметров транспортной системы анализируют и устанавливают причастность определенного объекта к конкретному сходу. В данном анализе обязательно наличие перечня возможных неисправностей (выделено по шесть неисправностей), которые позволяют оценить техническое состояние и степень участия в сходе. Количественные и качественные характеристики системы «локомотив – вагон – путь» были сняты с каждого участка схода и занесены как отдельные параметры в таблицу, по которым с использованием математической модели просчитывали относительную меру участия в сходе. Прежде всего, выделенные значимые дефекты характеризовали отклонениями от нормативных, которые могли быть относительными и абсолютными отклонениями. Полученные расчетные параметры представили в графическом виде как зависимость относительной меры при участии в сходе от количества рассматриваемых параметров (неисправностей).

Ключевые слова

система «локомотив – вагон – путь», сход вагонов, безопасность движения, параметры транспортной системы, количественные и качественные характеристики, математическая модель для определения вероятности схода вагонов

Для цитирования

Железняк В. Н. Оценка качественных и количественных характеристик системы «локомотив – вагон – путь» с использованием математической модели для определения вероятности схода вагонов / В. Н. Железняк, Л. В. Мартыненко // Со-

временные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 1 (69). – С. 241–247. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).241-247

Информация о статье

поступила в редакцию: 15.08.2020, поступила после рецензирования: 22.11.2020, принята к публикации: 05.12.2020

Evaluation of qualitative and quantitative characteristics of the “locomotive – railcar – track” system using a mathematical model to determine the derailment probability

V. N. Zheleznyak, L. V. Martynenko ✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ liuba.martinenko@yandex.ru

Abstract

The article considers measures aimed at improving the safety of rolling stock movement through the rational use of information obtained from the complex of traveling (train) experimental laboratories of the East-Siberian railway: traction and power; track measuring; brake testing; "wheel set and axle box". Each of these laboratories allows you to get real and reliable, for the present, information about the state of rolling stock and track technical systems. In order to simplify the search for faults that may trigger a derailment, it is proposed to divide the system into three separate parts in the created logical relationship of the "locomotive–railcar–track" system in order to identify violations during operation that may be involved in the derailment. Detected deviations of the transport system parameters are analyzed, determining the involvement of a particular object in a particular derailment. In this analysis, one must have a list of possible defects (six faults are highlighted), which make it possible to assess their technical condition and the degree of involvement in the derailment. Quantitative and qualitative characteristics of the "locomotive–railcar–track" system were taken from each section of the derailment and added to in the table as separate parameters, according to which the relative measure of involvement in the derailment was calculated using a mathematical model. First of all, the identified significant defects were characterized by deviations from the standard ones, which could be relative or absolute deviations. The obtained calculated parameters were graphically presented as the dependence of the relative measure of involvement in the derailment on the number of parameters (defects) under consideration.

Keywords

“locomotive – railcar – track” system, derailment, traffic safety, transportation system parameters, quantitative and qualitative characteristics, mathematical model for determining the probability of railcar derailment

For citation

Zheleznyak V. N., Martynenko L. V. Otsenka kachestvennykh i kolichestvennykh kharakteristik sistemy «lokomotiv – vagon – put'» s ispol'zovaniem matematicheskoi modeli dlya opredeleniya veroyatnosti skhoda vagonov [Evaluation of qualitative and quantitative characteristics of the “locomotive – railcar – track” system using a mathematical model to determine the derailment probability]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 1 (69), pp. 241–247. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).241-247

Article Info

Received: 15.08.2020, Revised: 22.11.2020, Accepted: 05.12.2020

Введение

Железнодорожный транспорт в России играет ключевую роль в социально-экономическом развитии, выполняя 85 % грузооборота и 37 % пассажирооборота. В настоящее время наблюдается рост грузооборота, который требует увеличения пропускной способности на транспорте и в том числе на горно-перевальном участке Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД).

Рост объемов перевозок грузовым подвижным составом тесно связан с внедрением инновационных вагонов и потребностью модернизации старого парка. Далее приведен план списания старого поколения вагонов на 2019–2030 гг. (рис. 1). Замещение устаревшего парка вагонов на инновационные поз-

волит повысить показатели качества перевозок, показан спрос на грузовые вагоны до 2030 г. (рис. 2).

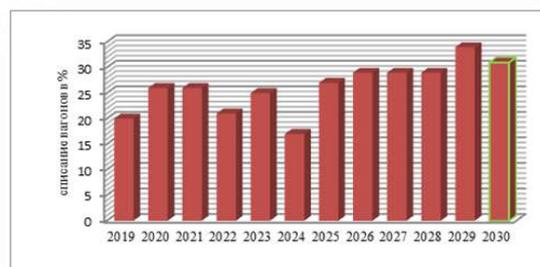


Рис. 1. Прогноз списания вагонов на 2019–2030 гг.
Fig. 1. Forecast of railcar withdrawal from service for 2019–2030

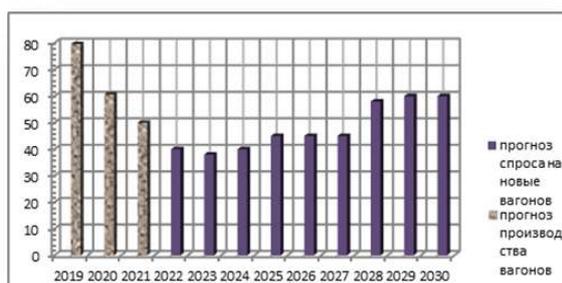


Рис. 2. Прогноз производства и спроса на грузовые вагоны в 2019–2030 гг., тыс. ед.

Fig. 2. Forecast of production and demand for freight cars in 2019–2030, thousand units

Увеличение грузооборота привело к росту количества сходов и крушений по сети железных дорог России за последние 10 лет, в частности на ВСЖД и Восточном полигоне (Красноярская, Забайкальская, Дальневосточная железные дороги).

Методика определения причин сходов подвижного состава в условиях неопределенности

Для выполнения постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении технического регламента о безопасности железнодорожного подвижного состава» от 15 июля 2010 г. № 524, в статье предлагается разработать комплекс мер, направленных на повышение безопасности движения подвижного состава за счет рационального использования информации, полученной с комплекса ходовых (поездных) экспериментальных лабораторий ВСЖД: тягово-энергетической, путеизмерительной, тормозоиспытательной. Каждый источник позволяет получить реальную и достоверную на данный момент информацию о состоянии техниче-

ских систем подвижного состава и пути. Для упрощения поиска неисправностей, которые могут инициировать сход вагонов, предлагается в созданной логической взаимосвязи системы «локомотив – вагон – путь» разделить ее условно на три отдельные части для выявления нарушений при эксплуатации, которые могут быть причастны к сходу. Обнаруженные отклонения параметров транспортной системы анализируют, так как в данной работе предметом исследования является поиск путей предупреждения сходов вагонов.

При написании технического заключения по сходу вагонов в соответствии с регламентирующим документом (№ 3057 р от 27 декабря 2019 г.) особое внимание обращается на поиск точки начала схода.

Автор предлагает уточнить методику поиска причин схода в системе «локомотив – вагон – путь» на реальных примерах сходов за последние 8 лет на горно-перевальных участках Восточного полигона. Динамика сходов показана на (рис. 3).

При определении причин сходов подвижного состава одной из задач служебного расследования является установление класса, к которому следует отнести конкретный сход. В данной системе обязательны наличие перечня возможных неисправностей, которые могли оказать воздействие и привести к сходу.

Рассматривая взаимодействие между элементами системы «локомотив – вагон – путь» была предложена блок-схема для решения задачи определения параметров классов (группы причин) вероятности участия в сходе. С использованием уравнения относительных отклонений определялись величины мер близости отдельно для совокупности параметров каждого схода и каждого класса причин этого события. Вычисленные вероятностные события участия того или иного объекта в сходе позволяли оценить техническое состояние каждого элемента, например,

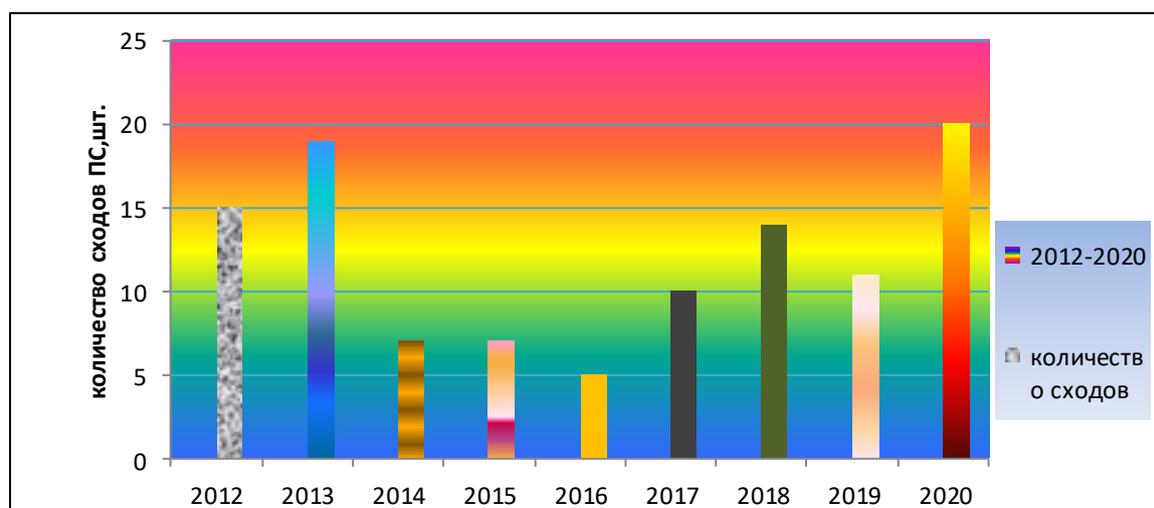


Рис. 3. Количество сходов за 2012–2020 гг. на Восточно-Сибирской железной дороге

Fig. 3. The number of retreats for 2012–2020. on the East Siberian Railway

содержание рельсовой колеи; режимы ведения подвижного состава (особенно в кривых участках пути); техническое состояние поверхности катания рельса и колеса (ползуны, выщербины); степень неисправности и техническое состояние систем вагона (автосцепки, пятник-подпятниковых узлов, рессорного комплекта, буксовых узлов и др.). Полученные расчетные параметры системы «локомотив – вагон – путь» сводились в таблицу исходных значений и результатов решения по отдельным объектам: «локомотив», «вагон», «путь». Обработка результатов многолетних расследований показала, что наиболее опасными объектами сходов являются те, у которых размерность отклоненных параметров превышает норму в 1,5–2 раза.

Математическая модель и анализ неисправностей в системе «локомотив – вагон – путь»

Количественные и качественные характеристики системы «локомотив – вагон – путь» были сняты с каждого участка схода и занесены как отдельные параметры в таблицу, по которой можно определить неисправности, приведшие к сходу подвижного состава. Прежде всего значимые дефекты, которые характеризуются отклонениями от стандартных (нормативных), могут быть относительными и абсолютными. Используя известные математические выражения из теоремы Барбашина – Красовского можно рассчитать относительные отклонения $d(C_j, K_j)$ в механической системе («локомотив – вагон – путь») по каждому классу объекта исследования

$$d(C_i, K_j) = \sum_n (p_n - k_n)^2 / p_n^2, \quad (1)$$

где p_n и k_n – значения параметров одного и того же класса, соответственно схода C_i и ядра класса K_j .

Используя дополнительное значение числового коэффициента $t_g = \frac{1}{R_i}$, который отражает особую значимость и важность в сравнении с другими факторами, он показывает отклонение R_i в системе (например, «уширение», «уклон», «толщина гребня», «износ») и позволяет оценить влияние каждого фактора в этой сложной технической системе. Перечень из множества неисправностей выбран единично из предположения их возможного участия в сходе, т. е. выборка усредненная. При одинаковых значениях исследуемых переменных в теории вероятностей и математической статистике эти отклонения увеличиваются на кратность m_j . Для устранения влияния различного числа параметров в каждом классе причин схода усредненные значения параметров следует проводить путем умножения мер близости на соответствующее число параметров в каждом классе m_j по формуле (2).

$$d(C_i, K_j) = \sum_n (p_n - k_n)^2 / p_n^{2*} m_j. \quad (2)$$

Например, просадка наружной и внутренней рельсовой нити увеличивает дефект вдвое. Для практических вычислений вводятся дополнительные обозначения: i – перечисление объектов «путь», «вагон», «локомотив» и т. д. (общим количеством N); j – признаки в каждом объекте, какими выделены «уширение», «уклон», или «толщина гребня» и т. д. (общим числом N_j).

$$N_i = \sum_{j=1}^{N_j} \frac{P_{ij} - R_{ij}}{R_{i^2 j}}, \quad (3)$$

где P_{ij} , R_{ij} – показатели изношенных и стандартных деталей в каждом объекте и его признаке.

Все полученные расчетные значения ранжируют по данному критерию меры близости и вероятности Q_j отнесения данного схода к соответствующему классу. Рассмотрим усреднение относительных мер близости D_j по каждому классу.

Очевидно, что причина аварии должна прямо зависеть от числовых значений дефектов локомотива, вагона и пути. Обозначим:

- $S_{\text{путь}}$ – относительная мера неисправностей пути при условии схода;
- $S_{\text{вагон}}$ – относительная мера неисправностей вагона при условии схода;
- $S_{\text{локомотив}}$ – относительная мера неисправностей вагона при условии схода.

Расчетные формулы по объектам:

$$S_{\text{п}} = \frac{D_{\text{п}}}{D_{\text{п}} + D_{\text{в}} + D_{\text{л}}}, \quad (4)$$

$$S_{\text{л}} = \frac{D_{\text{л}}}{D_{\text{л}} + D_{\text{п}} + D_{\text{в}}}, \quad (5)$$

$$S_{\text{в}} = \frac{D_{\text{в}}}{D_{\text{в}} + D_{\text{п}} + D_{\text{л}}}, \quad (6)$$

где $D_{\text{п}}$ – усредненное отклонение неисправностей пути; $D_{\text{л}}$ – усредненное отклонение неисправностей локомотива и нарушения режима ведения подвижного состава; $D_{\text{в}}$ – усредненное отклонение неисправностей вагона и нарушение правил размещения и крепления груза.

Для трех объектов (локомотив, путь, вагон соответственно) получаем значения вероятностей схода подвижного состава по каждому классу отдельно $Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{в}}$, $Q_{\text{л}}$:

$$Q_{\text{п}} = \frac{D_{\text{в}} D_{\text{л}}}{D_{\text{п}} D_{\text{в}} + D_{\text{п}} D_{\text{л}} + D_{\text{в}} D_{\text{л}}}, \quad (7)$$

$$Q_{\text{в}} = \frac{D_{\text{п}} D_{\text{л}}}{D_{\text{п}} D_{\text{в}} + D_{\text{п}} D_{\text{л}} + D_{\text{в}} D_{\text{л}}}, \quad (8)$$

$$Q_{\text{л}} = \frac{D_{\text{п}} D_{\text{в}}}{D_{\text{п}} D_{\text{в}} + D_{\text{п}} D_{\text{л}} + D_{\text{в}} D_{\text{л}}}. \quad (9)$$

Расчетные параметры системы уравнений (7)–(9) сводятся в таблицу одного объекта – пути. Ниже приведен пример анализа объекта для пути с минимальными параметрами, аналогично заполняются таблицы для двух других объектов – локомотива и вагона.

Исходные значения и результаты решения контрольного примера
для класса пути при сходе подвижного состава
Baseline values and test case solving results
for the track class in case of rolling stock derailment

Объект (класс, причины схода)	Наименование параметра	Значения параметров		Абсолютная манхэттенская мера близости	Наименование параметра t_g коэф.	Эвклидовы меры близости			Относительная мера неисправностей вагона при условии схода %
		Полученные	Ядра класса			Абсолютные	Относительные	Усредненные	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Путь, 1 класс	Уширение, мм	18	26	8	2	64	0,09	0,117	64
	Сужение, мм	6	12	6	3	36	0,25		
	Перекос, мм	13	20	7	8	49	0,122		
	Просадка, мм	20	28	8	10	64	0,086		
	Отступление в плане, мм	20	28	8	8	64	0,086		
	Отклонение по уровню, мм	20	29	9	5	81	0,096		
	Уклон отвода возвышения, мм/м	2,5- 2,7	3,6	1,1	6	1.21	0,093		

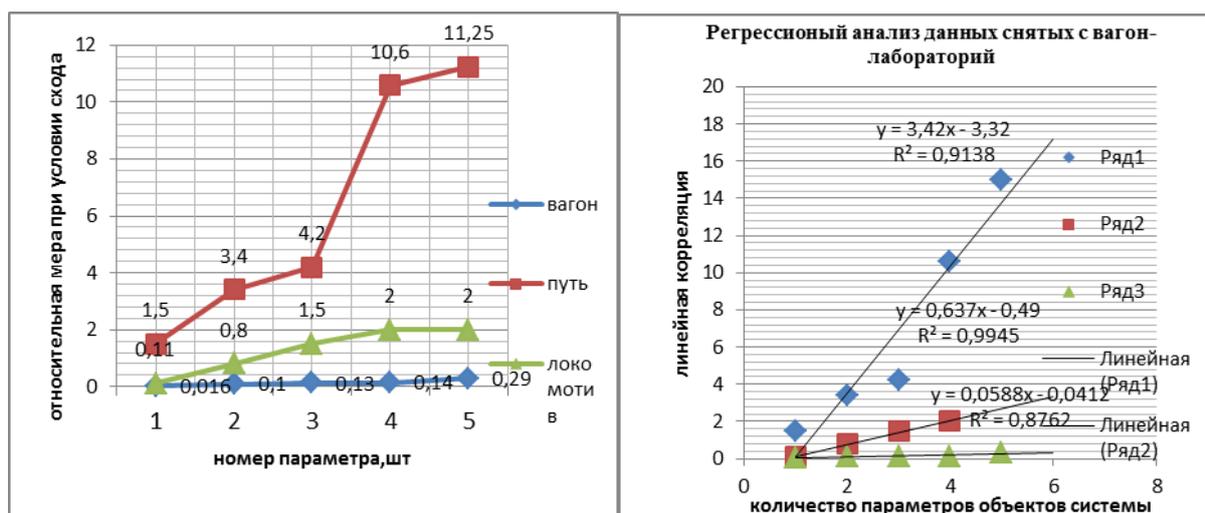


Рис. 4 Графики вероятности событий сходов по классу пути
Fig. 4. Graphs of the probability of deviation events according to the track class

В результате получилось, что минимальная усредненная мера близости (0,117) соответствует классу пути, вероятность причастности к сходу которого составила 64 %. Из сопоставления минимальных значений мер относительной близости в графе 8 (см. табл.) можно установить, что наибольшее влияние на такие результаты классификации причин схода внесли следующие отклонения: уширение 0,09 мм, уклон отвода ширины колеи и просадка пути – 0,086 мм.

Главный критерий оценки при сходе по неисправностям можно представить в виде графика, построенного по табличным значениям в точечной диаграмме или линейной зависимости для рассматриваемых объектов.

Заключение

Поскольку величина и характер параметров исследуемых объектов обусловлены случайными сочетаниями различных факторов, то результат действия одной величины может по-разному сказываться на опасности схода, что видно по разбросу точек на графиках. Аппроксимация позволяет исследовать числовые характеристики и качественные свойства объекта, сводя задачу к изучению более простых или более удобных объектов (например, таких, характеристики которых легко вычисляются или свойства которых уже известны). В теории чисел изучаются диофантовы приближения, в частности, приближения иррациональных чисел рациональным.

Квадрат коэффициента корреляции (r^2) называется коэффициентом детерминации или аппроксимации и обозначается RI или R^2 . Этот коэффициент показывает долю (%) тех изменений, которые в данном явлении зависят от изучаемого фактора. Коэффициент детерминации является более непосредственным и прямым способом выражения зависимости одной величины от другой, и в этом отношении он предпочтительнее коэффициента корреляции. В случаях, где известно, что независимая переменная Y находится в причинной связи с независимой переменной X , значение r^2 показывает ту долю элементов в вариации Y , которая определена влиянием X . Регрессионный анализ заключается в том, чтобы отыскать

линию (прямую в случае линейной корреляции), наиболее точно выражающую зависимость одного признака от другого. Кроме того, при помощи регрессионного анализа можно выявить ошибку опытных данных, влияющих на конечные результаты исследования (схода). Так, например, значение коэффициента корреляции, приведенного на графике, указывает на чувствительность системы «локомотив – вагон – путь» к различным дефектам и позволяет ранжировать их опасность.

Имея математическую модель поиска дефекта в системе «локомотив – вагон – путь», можно провести глубокий анализ ранжирования неисправностей и степени их опасности.

Список литературы

1. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 560 с.
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. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Некрасов О.А., Лисицын А.Л., Стромский П.П., Боровиков А.П., Чукова Т.С., Григоренко В.Г., Первушина В.М. Правила тяговых расчетов для поездной работы // М.: Транспорт, 1985. 287 с.
4. Доронин И.С. Расчет шейки оси колесной пары на продольную нагрузку // Вестник ВНИИЖТ, 1978. С. 33–34.
5. Ершков О.П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых // Тр. ЦНИИ МПС. Вып. 192. М.: Транжелдорздат, 1960. С. 5–58.
6. 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.
7. Жуков И.В. Автономное устройство регистрации расширяет возможности испытательных поездов (Вагон тормозоиспытательный) // Вагоны и вагонное хозяйство. Приложение к журналу «Локомотив», М.: 2019. №1(49). С. 40–41.
8. Комиссаров А.Ф. Итоги работы проектно-конструкторского бюро вагонного хозяйства за 2018 год // Вагоны и вагонное хозяйство. Приложение к журналу «Локомотив», М.: 2019. №1(49). С. 5–6.
9. Кудрявцев Н.Н. Исследования динамики неподрессоренных масс вагонов // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 287. М.: Транспорт, 1965. 168 с.
10. Кузович В.М. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Динамическая нагруженность специализированных вагонов в криволинейных участках пути». Москва, 2010, 211 с.
11. Кудрявцева Н.Н. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 572. М.: Транспорт, 1977. 144 с.
12. Кудрявцев Н.Н. Исследования динамики неподрессоренных масс вагонов // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 287. М.: Транспорт, 1965. 168 с.
13. 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.
14. Лысюк В.С. Причины и механизмы схода колеса с рельса. М.: Транспорт, 2002. 215 с.
15. Скалов А.Д., Коваль В.А. Методика исследования вертикальных и боковых сил при износных испытаниях рельсов // Вестник ВНИИЖТ, 1980. № 6. 216 с.
16. 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.
17. Рудановский В.М. Методика определения причин сходов подвижного состава в условиях неопределенностей // Вестник ВНИИЖТ, 2011. № 4. 10–15 с.
18. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. Москва: Транспорт, 1987. 479 с.

References

1. Verigo M.F., Kogan A.Ya. Vzaimodeistvie puti i podvizhnogo sostava [Interaction of the track and rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1986. 560 p.
2. Gracheva L.A., Pevzner V.O., Anisimov P.S. Pokazateli dinamiki i vozdeistviya na put' gruzovykh chetyrekhosnykh vagonov pri razlichnykh iznosakh telezhok i otstupleniyakh ot norm soderzhaniya v pryamykh uchastkakh puti [Indicators of performance and track impact of cargo four-axle railcars with different degrees of trolley wear and deviations from standards in the straight sections of the track]. *Sb. nauch. tr. VNIIZhT [Works of the Railway Research Institute]*, Vol. 549. Moscow: Transport Publ., 1976. Pp. 4–25.
3. Grebenyuk P.T., Dolganov A.N., Nekrasov O.A., Lisitsyn A.L. et al. Pravila tyagovykh raschetov dlya poezdnoi raboty [Rules of traction calculations for train work]. Moscow: Transport Publ., 1985. 287 p.

4. Doronin I.S. Raschet sheiki osi kolesnoi pary na prodol'nyu nagruzku [Calculation of the wheel pair axle neck for longitudinal load]. *Vestnik VNIIZHT [VNIIZHT Scientific Journal]*, 1978. P. 33–34.
5. Ershkov O.P. Raschet rel'sa na deistvie bokovykh sil v krivykh [Calculation of the rail on the action of side forces in curves]. *Tr. TSNII MPS [Proceedings of the Central Research Institute of Railway Transport of the Ministry of Railways]*, Issue 192. Moscow: Transzheldorizdat Publ., 1960. Pp. 5–58.
6. Zhelmin G.G., Pevzner V.O., Shinkarev S.B. Issledovanie zavisimosti mezhdu pokazatelyami dinamiki podvizhnogo sostava i vozdeistviya ego na put' [A study of the dependencies between the indicators of the dynamics of the rolling stock and its influence on the track]. *Trudy VNIIZhT [Works of the Railway Research Institute]*, Vol. 542. Moscow: Transport Publ., 1975. Pp. 84–92.
7. Zhukov I.V. Avtonomnoe ustroystvo registratsii rasshryaet vozmozhnosti ispytatel'nykh poezdov (Vagon tormozoprytatel'nyi) [A stand-alone registration device extends test trains (A brake-testing railcar)]. *Vagony i vagonnoe khozyaistvo. Prilozhenie k zhurnalu «Lokomotiv» [Railcars and rolling stock facilities. The appendix to the “Locomotive” journal]*, No. 1 (49). Moscow, 2019. Pp. 40–41.
8. Komissarov A.F. Itogi raboty proektno-konstruktorskogo byuro vagonnogo khozyaistva za 2018 god [Results of the work of the design bureau of rolling stock facilities for 2018]. *Vagony i vagonnoe khozyaistvo. Prilozhenie k zhurnalu «Lokomotiv» [Railcars and rolling stock facilities. The appendix to the “Locomotive” journal]*, No. 1 (49). Moscow, 2019. Pp. 5–6.
9. Kudryavtsev N.N. Issledovaniya dinamiki nepodressorenykh mass vagonov [Studies of dynamics of unsprung masses of cars]. *Trudy VNIIZhT [Works of the Railway Research Institute]*, Iss. 287. Moscow: Transport Publ., 1965. 168 p.
10. Kuzovich V.M. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk po teme «Dinamicheskaya nagruzhennost' spetsializirovannykh vagonov v krivolinykh uchastkakh puti». [Dynamic loading of specialized railcars in curved sections of the track. A Ph.D. (Engineering) diss.]. Moscow, 2010, 211 p.
11. Kudryavtseva N.N. Dinamicheskie nagruzki khodovykh chastei gruzovykh vagonov [Dynamic loads of running parts of freight cars]. *Trudy VNIIZhT [Works of the Railway Research Institute]*, Iss. 572. Moscow: Transport Publ., 1977. 144 p.
12. Kudryavtsev N.N. Issledovaniya dinamiki nepodressorenykh mass vagonov [Studies of the dynamics of unsprung railcar masses]. *Trudy VNIIZhT [Works of the Railway Research Institute]*, Iss. 287. Moscow: Transport Publ., 1965. 168 p.
13. Lukin V.V., Anisimov V.N., Koturanov V.N. Konstruirovaniye i raschet vagonov: uchebnik, 2-e izd., pererab. i dop. [Design and calculation of railcars: a textbook, 2nd ed., revised and abridged]. Moscow: Federal state educational institution “Educational and methodological center of education in railway transport” Publ., 2011, 688 p.
14. Lysyuk V.S. Prichiny i mekhanizmy skhoda koleasa s rel'sa [Causes and mechanisms of wheel derailment]. Moscow: Transport Publ., 2002. 215 p.
15. Skalov A.D., Koval V.A. [Metodika issledovaniya vertikal'nykh i bokovykh sil pri iznosnykh ispytaniyakh rel'sov [A method of investigation of vertical and lateral forces during wear tests of rails]. *Vestnik VNIIZHT [VNIIZHT Scientific Journal]*, 1980. No. 6. 216 p.
16. Romen Yu.S., Nikolaev V.E. Issledovanie vliyaniya determinirovannykh nerovnostei puti v plane na uroven' bokovykh sil pri dvizhenii gruzovogo vagona [Investigation of the influence of deterministic track irregularities in the plan on the level of lateral forces when moving a freight car]. *Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta [Problems of railway transport mechanics]*, Kiev: Naukova Dumka Publ., 1980. Pp. 40–42.
17. Rudanovskii V.M. Metodika opredeleniya prichin skhodov podvizhnogo sostava v usloviyakh neopredelennosti [A method of determining the causes of rolling stock derailments in conditions of uncertainty]. *Vestnik VNIIZHT [VNIIZHT Scientific Journal]*, 2011. No. 4. Pp. 10–15.
18. Shakhunyan G.M. Zheleznodorozhnyi put'. [Railway track]. Moscow: Transport Publ., 1987. 479 p.

Информация об авторах

Железняк Василий Никитович – канд. техн. наук, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: zheleznyak_vn@irgups.ru

Мартыненко Любовь Викторовна – старший преподаватель кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru

Information about the authors

Vasilii N. Zheleznyak – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Railcars and Rolling Stock Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: zheleznyak_vn@irgups.ru

Lyubov' V. Martynenko – senior lecturer of the Subdepartment of Railcars and Rolling Stock Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru