

Анализ развития дефектов на поверхности катания грузовых вагонов в пути следования от места погрузки до места выгрузки

Д. О. Емельянов✉, Л. В. Мартыненко

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

✉ emelyanovdenis1995@mail.ru

Резюме

В настоящее время на сети железных дорог России и, в частности Восточно-Сибирской железной дороге, остро стоит вопрос качества эксплуатируемого подвижного состава. Увеличился рост количества отцепок вагонов, причиной которых является неудовлетворительное состояние пути и вагона в целом, что требует поиска оптимальных решений данных проблем. Рассуждая на актуальную тему, несомненно, необходимо затронуть вопросы современных стратегий и тенденций развития железнодорожного транспорта и вагонного парка, внедрения современных технологий и технологического оборудования. В результате детального рассмотрения поставленных вопросов, причин и следствий возникновения тех или иных факторов, отправной точкой будет являться углубленный анализ системы взаимодействия «колесо – рельс». Данный анализ позволит объективно указать на конкретные причины существующих проблем в области эксплуатации, описать возникающие явления с достаточной степенью обоснования, предложить прогрессивные актуальные методы решения и обсудить возможные перспективы развития железнодорожной отрасли. Обратившись к статистике по отказам за последние три года, можно проследить рост неисправностей, связанных с дефектами поверхности катания колес. И, действительно, увеличение скоростей движения подвижного состава, рост объемов перевозимых грузов привели к повышению интенсивности его эксплуатации. Следствием этого стало увеличение нагрузок на основные узлы подвижного состава, повышение интенсивности износа деталей.

Ключевые слова

инновационный вагон, интенсивный износ, дефект, безопасность движения, подвижной состав, железнодорожная инфраструктура, система «колесо – рельс», эксплуатация, статистика

Для цитирования

Емельянов Д. О. Анализ развития дефектов на поверхности катания грузовых вагонов в пути следования от места погрузки до места выгрузки / Д. О. Емельянов, Л. В. Мартыненко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 67–75. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).67-75

Информация о статье

поступила в редакцию: 26.08.2021, поступила после рецензирования: 03.09.2021, принята к публикации: 09.09.2021

Analysis of the defect formation on the rolling surface of freight cars en route from loading to unloading site

D. O. Emelyanov✉, L. V. Martynenko

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ emelyanovdenis1995@mail.ru

Abstract

Currently, the issue of the operated rolling stock quality is urgent in the Russian railway network and the VSZHD, in particular. The number of uncoupling cars has increased, due to the unsatisfactory condition of the track and car in general, requiring the search for optimal solutions to these problems. Discussing the current topic, it is undoubtedly necessary to touch upon the issues of modern strategies and trends in the development of railway transport and the carriage fleet, the introduction of modern technologies and technological equipment. As a result of a detailed consideration of these issues, the causes and consequences of the occurrence of certain factors, the starting point will be an in-depth analysis of the wheel-rail interaction system. This analysis will allow to objectively indicate the specific causes of existing problems in the field of operation, describe emerging phenomena sufficiently substantiated, offer progressive topical solutions and discuss possible prospects for the development of the industry. Referring to the statistics on failures over the past 3 years, it is possible to trace the growth of malfunctions associated with defects in the rolling surface of the wheels. And indeed, the speed increase of the rolling stock, the increase in the volume and quantity of transported goods led to an increase in the intensity of the rolling stock operation. As a result, there was an increase in loads upon the main components of the rolling stock, an increase in the parts wearing intensity.

Keywords

innovation car, intense wearing, defect, motion safety, rolling stock, railroad infrastructure, "wheel-rail" system, operation, statistics

For citation

Emelyanov D. O., Martynenko L. V. Analiz razvitiya defektov na poverkhnosti kataniya грузовых вагонов в пути следования от места погрузки до места выгрузки [Analysis of the defect formation on the rolling surface of freight cars en route from loading to unloading site]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 3 (71), pp. 67–75. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).67-75

Article Info

Received: 26.08.2021, Revised: 03.09.2021, Accepted: 09.09.2021

Введение

Взаимодействие системы «колесо – рельс» является основной причиной развития дефектов, так как колесо и рельс могут работать абсолютно по-разному, и причины развития дефектов на них в процессе движения ведут к нарушениям работы узлов и деталей подвижного состава, к выходу их из строя, а в худшем случае к сходу состава, что оборачивается многомиллионными потерями для всей отрасли железнодорожного транспорта.

Взаимодействие пути и подвижного состава является предметом детального рассмотрения комплекса различных научных дисциплин, всесторонне исследующих механические процессы, сосредоточенные в железнодорожном подвижном составе и в железнодорожном пути при оказании ими воздействия друг на друга [1]. Это взаимодействие – основной физический процесс при движении вагонов [2].

В конце 1980-х гг. на железных дорогах России увеличилась интенсивность бокового износа рельсов, а также износ гребней колес [3]. Интенсивный износ колес и рельсов сопровождался заметным ростом числа дефектных рельсов в пути, бокового износа рельса, вследствие чего прослеживался необратимый рост количества изломов рельсов и колес подвижного состава при их контактом взаимодействии (рис. 1) [4]. Это вело к крайне негативным последствиям в сфере безопасности движения поездов в целом.

Рассмотрим основные виды дефектов:

- 21 (красный) – наличие поперечных трещин из-за низкого качества (в частности, прочности) стали, использованной для производства металлоконструкции;
- 17 (синий) – отслоение и/или выкрашивание металла на головке прокатного изделия, наличие

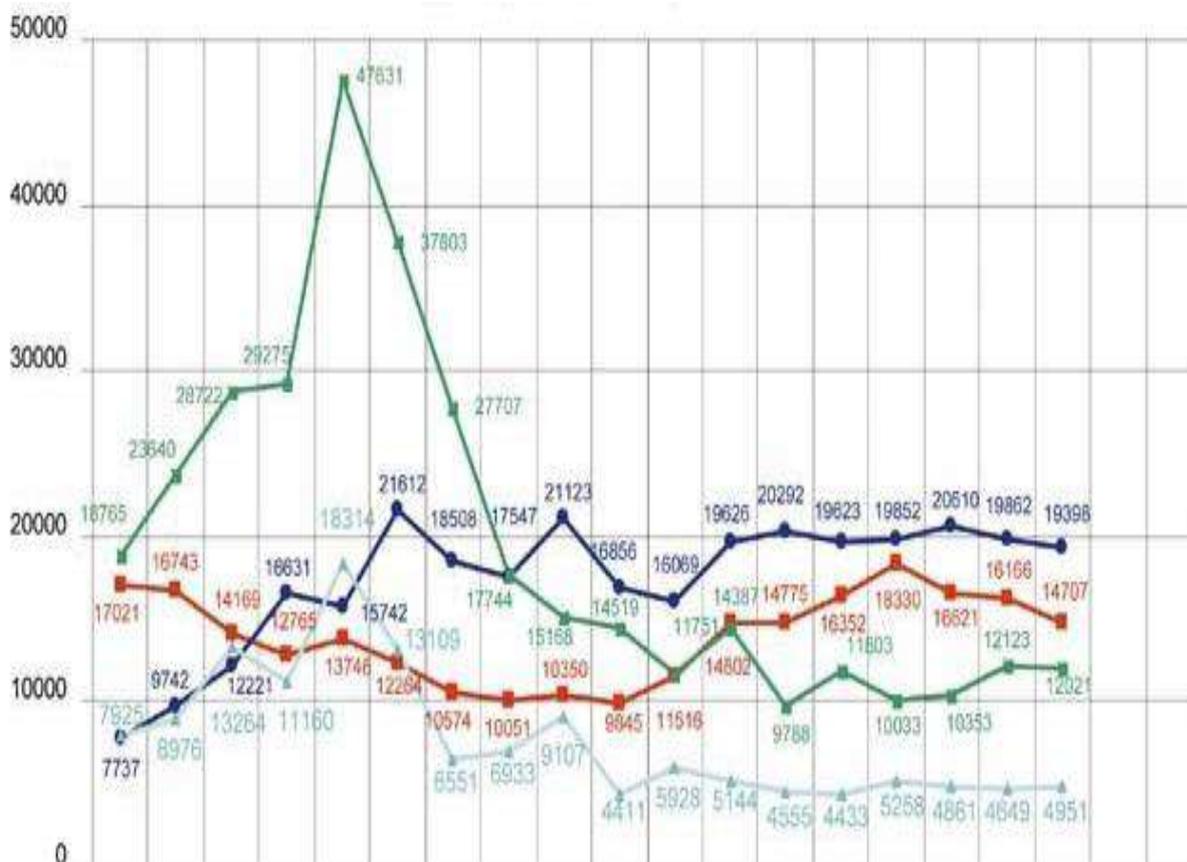


Рис. 1. Количество дефектных рельсов на сети железных дорог России

Fig. 1. Number of defects in the railroad network in Russia

изъянов в стыках;

– 44 (зеленый) – износ верхней части (боковой, вертикальный, неравномерный) и/или прочие пластические деформации, возникает по причине чрезмерной нагрузки на путь или из-за того, что подвижной состав не соответствует требованиям к эксплуатации;

– 41 (серый) – смятие, износ верхней части (боковой, вертикальный, неравномерный) и/или другие деформации из-за низкого качества (в частности, прочности) стали, использованной для производства металлоконструкции.

Как было позже установлено в ходе исследований, основная причина интенсивного износа в системе «колесо – рельс» связана со сверхнормативным сужением или уширением рельсовой колеи [5]. Исследования, проведенные по сети железных дорог, дают основания считать, что большинство дефектов возникает в головке рельса и являются дефектами контактно-усталостного происхождения [6].

В настоящее время рельс страдает от бокового износа, ранее повышенный боковой износ рельсов встречался в основном на кривых малого радиуса до 650 м, в настоящее время прослеживается и в кривых



Рис. 2. Причины отцепок грузовых вагонов во внеплановый ремонт TP-1, TP-2 за 12 мес. 2020 г. (тыс. вагонов)

Fig. 2. Reasons for freight car uncoupling during the unscheduled repairs TP-1 and TP-2 within 12 months of 2020 (thousands cars)

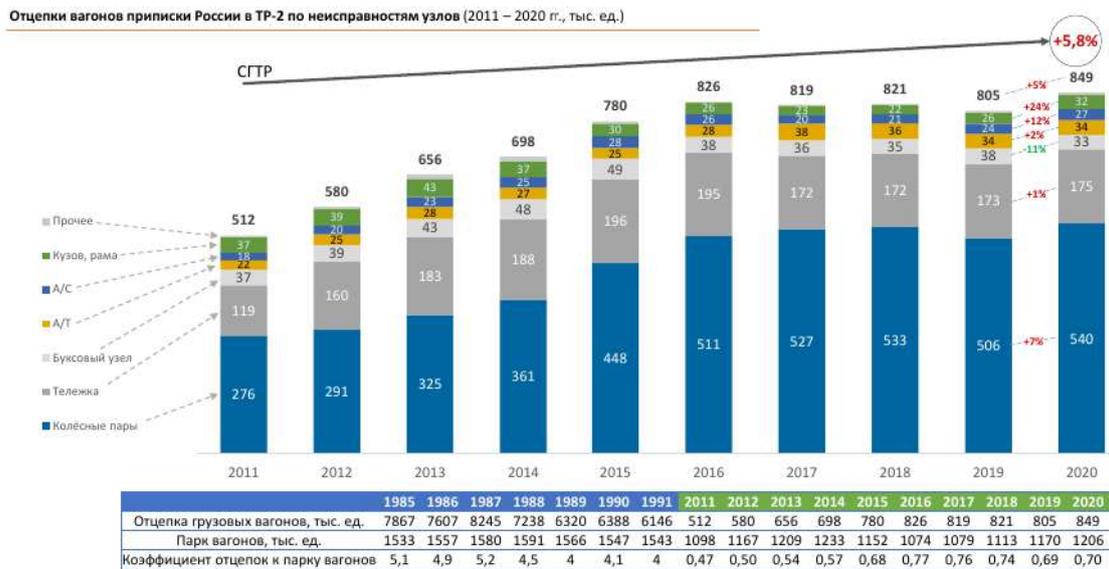


Рис. 3. Отцепки вагонов приписки России в TP-2 по неисправностям узлов за отчетный период

Fig. 3. Uncoupling of Russia home cars in TP-2 due to node malfunction within the reference period

радиусом более 1 000 м, а иногда и до 2 000 м [7]. Боковой износ появился и на прямых участках пути, что свидетельствует об изменении характера взаимодействия колеса и рельса, что связано не только с изменением формы колеса, но и угла набегания гребня колеса на рельс [8]. Особенно это заметно при движении по кривым участкам пути порожними вагонами. Отсюда следует, что взаимодействие пути и подвижного состава в груженом и порожнем состоянии происходит по-разному, значит углы набегания колеса на рельс могут варьироваться [9]. Задача состоит в том, чтобы уменьшить углы набегания, для этого необходимо внести дополнительное нормирование отводов ширины колеи.

Данную проблему нужно решать двумя способами: изъять рельсы при достижении бокового износа 8–10 мм, либо усовершенствовать ходовые части вагонов, а также внести изменения при проектировании кузова и крепления его на тележки [10]. Но если при первом способе увеличится в 2–2,5 раза объем смены рельсов, что при детальном рассмотрении является тупиковым, то второй способ позволяет кардинально решить проблему. Правда для этого потребуются немало материальных средств и временных ресурсов.

Тем не менее не исключены и другие решения. Если одна сторона проблемы кроется непосредственно в пути, то обратная сторона этой же проблемы – это ходовая часть вагона, а именно, колесная пара [11]. Статистика отцепок грузовых вагонов за последние годы по основным узлам четко демонстрирует преимущество колесных пар, как проблемного узла грузового вагона (рис. 2). Из этой же статистики можно сделать вывод, что основная причина большинства дефектов колесной пары кроется в процессе

эксплуатации грузового подвижного состава.

Неблагоприятную тенденцию подтверждает и статистика отцепок в ремонт по основным узлам, взятая за более продолжительный период (рис. 3).

Очевидно, что напрашивается детальное рассмотрение статистики по дефектам колесных пар, которые привели к отцепкам вагонов. Это позволит сделать более точные выводы и заключения.

Из представленной статистики мы видим, что в последние годы сохраняется высокая интенсивность эксплуатации грузового подвижного состава, что уже является фактором, предрасполагающим к развитию усталостного износа. Основными же дефектами, развивающимися в процессе эксплуатации, являются тонкий гребень и выщербины, раковины обода колеса (рис. 4).

Обращаясь непосредственно к развитию дефектов колесных пар, в частности колеса, следует учитывать ряд факторов [12], а именно: профиль и кривизну пути, скорость движения подвижного состава, массу состава, профиль рельса и колеса. Все это напрямую влияет на восприятие колесной парой осевых и радиальных нагрузок. Также необходимо учитывать статическую и динамическую составляющую этих нагрузок [13]. В результате построения математической модели системы «колесо – рельс» и произведения расчетов с учетом перечисленных факторов получим пятно контакта (рис. 5).

На основе этого напрашивается очевидный вывод, что за счет предельно малой площади контакта и максимальных нагрузок в этой области, многократно увеличивающихся при прохождении кривых на малых скоростях при максимально допустимых массах состава, происходит интенсивный усталостный износ, приводящий к развитию дефектов в

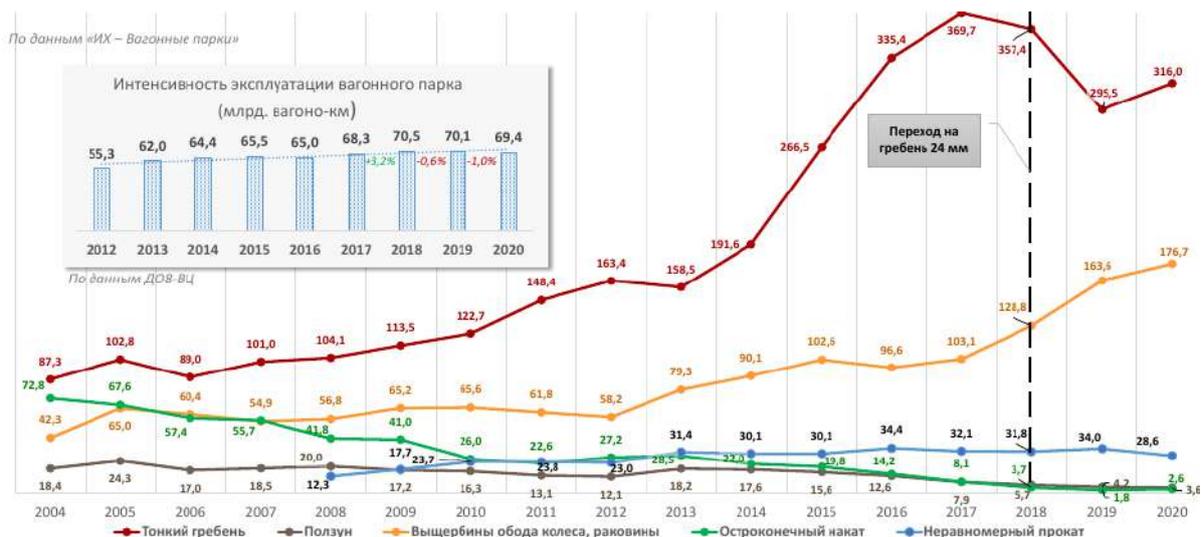


Рис. 4. Динамика отцепок в ТР-2 вагонов в России

по наиболее массовым видам неисправностей колесных пар, тыс. ед.

Fig. 4. Uncoupling dynamics of cars in TP-2 in Russia due to the most common defects of wheelsets, thousand units

процессе эксплуатации [14]. Также необходимо учитывать наличие развившихся дефектов на поверхности катания колеса, например, ползуна, выщербин, что ведет к увеличению динамических нагрузок и воздействий примерно в 1,5–2 раза [15].

На величину и распределение контактных напряжений большое влияние оказывают профили колеса и рельса, а также характер контакта: одно-

точечный или двухточечный (рис. 6) [16, 17]. При конформном профиле, размер площади контакта увеличивается, что приводит к уменьшению уровня контактных напряжений по сравнению с неконформными профилями. Конформный профиль – это профиль обода колеса, который от опорной поверхности катания до рабочей поверхности гребня подобен профилю рельса от опорной поверхности каче-

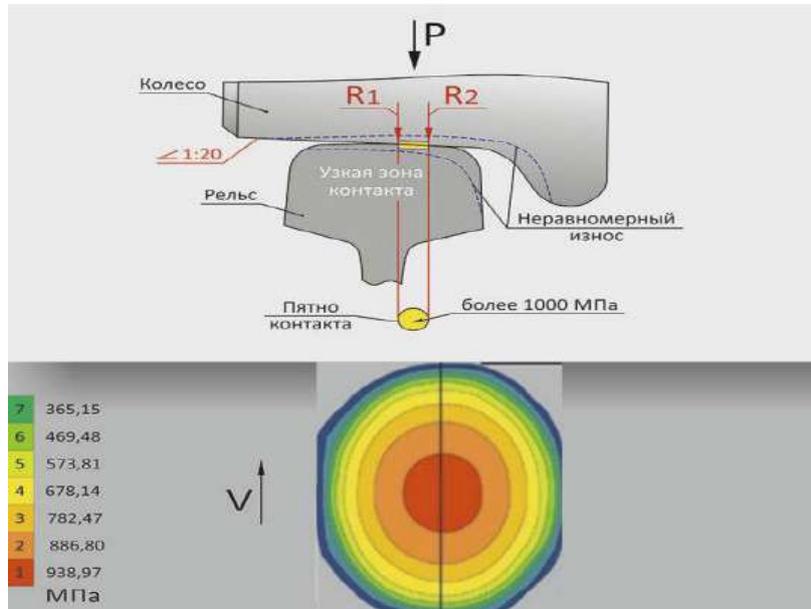


Рис. 5. Пятно контакта между колесом и рельсом

Fig. 5. Wheel-rail contact spot

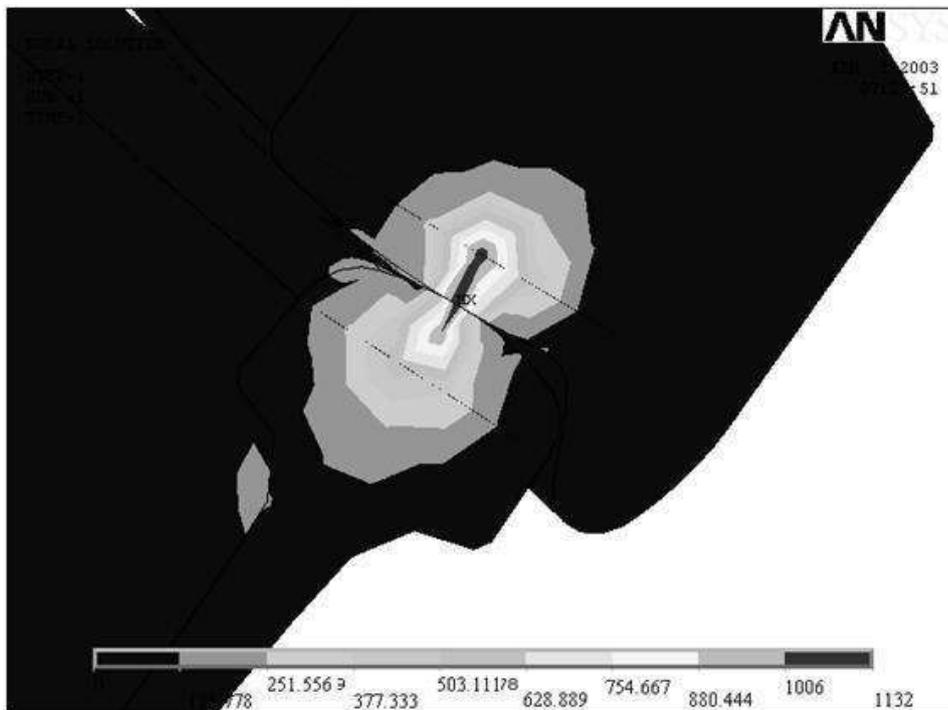


Рис. 6. Контактное напряжение в системе «колесо-рельс»

Fig. 6. Contact stress in the system “wheel-rail”

ния до боковой поверхности рельса. В данный момент подобное решение проблемы выглядит весьма прогрессивно, хоть и имеет определенные недостатки и сложности.

С одной стороны, изменив путевое строение, под уклонку рельсов и согласовав профиль рельса с поверхностью катания колеса, мы изменим структурное представление об усталостном износе в системе взаимодействия между колесом и рельсом. В перспективе данное решение при достаточном обосновании выглядит предпочтительным с научной точки зрения. С другой стороны, данное решение ведет к огромным финансовым затратам, принятию кардинальных мер по реорганизации верхнего строения пути, пересмотру технологий обслуживания пути и колесных пар, стандартов и норм геометрических размеров рельса и колеса, проведению многочисленных испытаний с последующим обоснованием технических решений.

Результат проведения комплексной оценки влияния множества изученных факторов на процессы износов в системе взаимодействия «колесо – рельс» нашел отражение в полученных графических и табличных данных, наглядно демонстрирующих влияние так называемого «фактора износа» непосредственно на сам процесс. Полученные зависимо-

сти представлены на рис. 7.

В данный момент имеет место одно из перспективных решений проблемы, обращенное не столько к технической стороне проблемы дефектов колесных пар, сколько к общему экономическому эффекту, реализуемому грузовым вагоном. Все большую известность приобретает понятие инновационный вагон. Инновационный вагон – тележкой 18-9855, позволяет увеличить ресурс ходовой части до 1 млн км, а также обеспечить низкую динамику при высокой нагрузке и уменьшенное сопротивление движению. Кроме того, кузов полувагона на этой тележке другой формы, за счет чего повысилась загрузка вагона и распределение сил на тележку. На этих моделях применяются литая консоль и интегрированная тормозная система. Все это позволило повысить надежность вагонов и уменьшить количество отцепок в ремонт, тем не менее, несмотря на новизну всех технических решений в области вагоностроения, основным критерием так называемой инновационности вагонов новых поколений является их экономическая эффективность, т. е. применение дорогих износостойких, легких и прочных материалов, увеличивающих срок службы вагонов, их скорость движения и максимальную загрузку не позволит относить вагон к разряду инно-

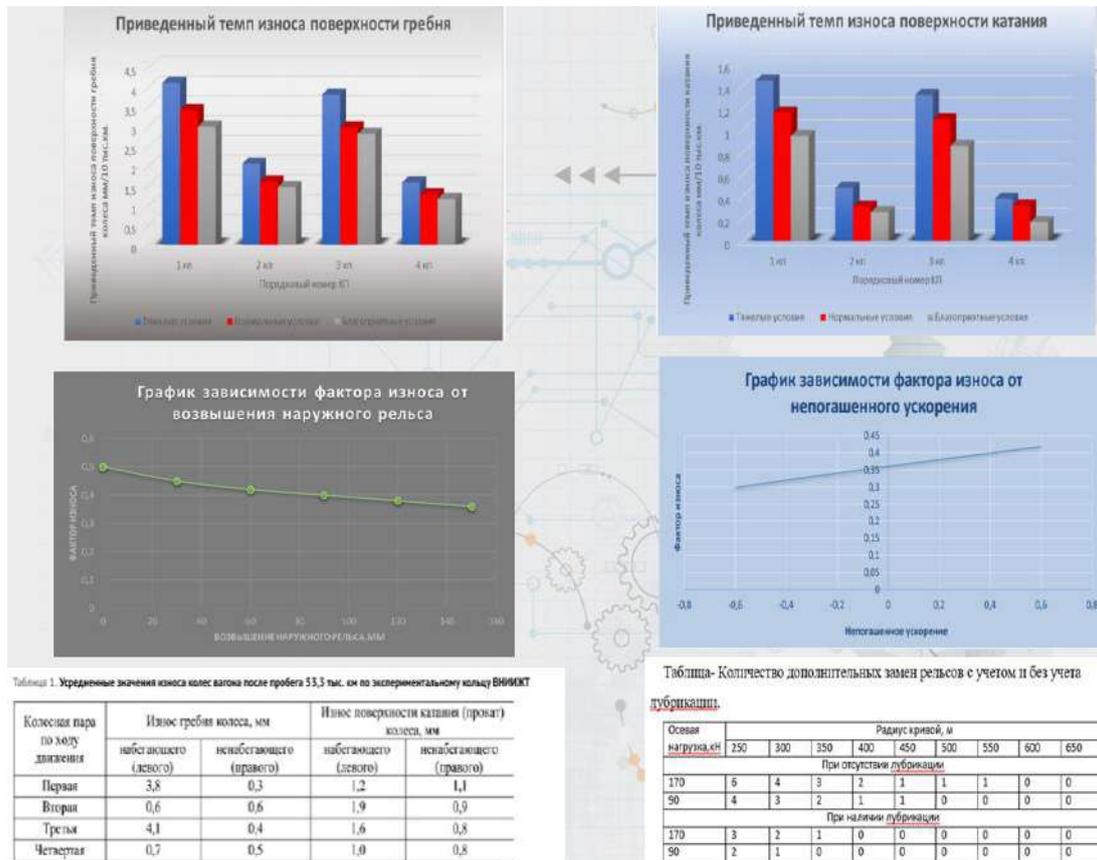


Рис. 7. Факторы износа колеса в ходе эксплуатации
 Fig. 7. Factors of the wheel wear during the operation

вагонных, если его экономическая эффективность не вырастет. Именно это и является в данном направлении одним из главных вопросов, так как экономическая эффективность данных вагонов теряется за счет стоимости изготовления и обслуживания вагона, больших финансовых затрат на стадии введения вагона в эксплуатацию. Из протокола заседания Объединенного ученого совета ОАО «РЖД»: «... грузовой вагон нового поколения – это грузовой вагон, дающий при массовом внедрении значимый экономический эффект для всех участников перевозочного процесса по сравнению с массовым вагоном-аналогом за счет применения технических решений, отвечающих достигнутому к настоящему моменту уровню техники...».

Эксплуатация инновационных вагонов оказалась позитивной, основной плюс – это увеличение грузоподъемности вагона и увеличение грузопотока на 7–8 %. Опыт эксплуатации таких вагонов на данном этапе дает высокие эксплуатационные показатели скорости и сроки доставки груза, что важно при дальних направлениях и поставках через морские порты.

Существующее на данном этапе состояние железнодорожной инфраструктуры остается главным фактором, сдерживающим развитие этого перспективного направления в вагоностроении [18]. Основная проблема при эксплуатации инновационных грузовых вагонов состоит в отсутствии эффективного сервиса по оснащению подвижного состава запасными деталями. Из этого следуют проблемы, не позволяющие в полной мере реализовать преимущества, заложенные в фундамент понятия инновационного вагона, на сегодняшний день мы видим, что если инновационный грузовой вагон отправляется в текущий отцепочный ремонт, то простой такого вагона на 36 % выше, чем у любого типового вагона. И связано это только с тем, что мы не имеем возможности обеспечивать ремонт такого вагона из-

за отсутствия запасных частей в необходимом количестве или из-за задержек поставок.

Проблема же развития дефектов колесных пар не миновала и инновационные вагоны. При всей новизне конструкции основных узлов вагона, внедрении новых материалов и повышению экономической эффективности вагона в целом, неприятные тенденции развития тонкого гребня колеса, выщербин на поверхности катания колеса и бокового износа рельса сохранились. Поэтому система взаимодействия «колесо – рельс» требует дальнейшего углубленного анализа, многочисленных опытов и исследований, а также конкретных технических решений.

Заключение

Фундаментальными факторами, влияющими на интенсивность бокового износа рельсов, а также колес подвижного состава, являются горный рельеф местности с множеством кривых малого радиуса, большая грузонапряженность, повышенные осевые нагрузки, особенно у инновационных вагонов. Проанализировав исследования о боковом износе, точка контакта, где происходит набегание колеса на рельс, является самым слабым местом, большой угол набегания – основная причина бокового износа. Повышенная интенсивность бокового износа рельса – это не только горный рельеф местности, но и угол набегания гребня колеса на рельс, который зависит от многих факторов, особенно от контакта колеса с рельсом, соответственно, это связано и с техническим состоянием пути и вагона в целом. Данное заключение говорит о том, что любая неисправность в системе «колесо – рельс» увеличивает угол набегания колеса и может привести к сходу.

Список литературы

1. Быков Б.В. Конструкция тележек грузовых и пассажирских вагонов : учеб. пособие. М. : Маршрут, 2004. 36 с. : ил.
2. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М. : Транспорт, 1986. 560 с.
3. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Транспорт, 1991. 860 с.
4. 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., 1976. С. 4–25.
5. Доронин И.С. Расчет шейки оси колесной пары на продольную нагрузку // Вестник ВНИИЖТ. 1978. № 5. С. 33–34.
6. Ершков О.П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых // Тр. ЦНИИ МПС. М., 1960. Вып. 192. С. 5–58.
7. Иванова В.Ю. МДК 02.01 Организация работы и управление подразделением организации (вагоны) (раздел 3) (тема 3.3) : фонд оценочных средств. М. : УМЦ ЖДТ, 2020. 40 с.
8. Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (инструкция осмотрику вагонов) № 808-2017-ПКБ-ЦТ : утв. Советом по железнодорожному транспорту Государств - участников Содружества : от 21-22 мая 2009 г. № 50. Введ. 01.09.2009.
9. Карпушенко Н.И., Величко Д.В., Бобовникова Н.А. Влияние ширины колеи и состояния ходовых частей подвижного состава на интенсивность износов // КиберЛенинка : сайт. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-shiriny-kolei-i-sostoyaniya-hodovyh-chastey-podvizhnogo-sostava-na-intensivnost-iznosov/viewer> (Дата обращения 22.08.2021).

10. Кудрявцева Н.Н. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов // Тр. / ВНИИЖТ. М., 1977. Вып. 572. 144 с.
11. Лукин В.В., Анисимов П.С., Федосеев Ю.П. Вагоны. Общий курс. М. : Маршрут, 2004. 424 с.
12. Пухов И.В. Между колесом и рельсом // Гудок. 2013. 22 нояб. (№ 207 (26346)). Электрон. версия. URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1393921> (Дата обращения 18.09.2021).
13. Ромен Ю.С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее: методы расчета и испытаний. М. : ВМГ-Принт., 2014. 208 с.
14. Ромен Ю.С., Мугинштейн Л.А., Неверова Л.И. Влияние продольных сил в поездах на опасность схода вагона в зависимости от их загрузки // КиберЛенинка : сайт. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-prodolnyh-sil-v-poezdah-na-opasnost-shoda-vagonov-v-zavisimosti-ot-ih-zagruzki/viewer> (Дата обращения 01.04.2021).
15. Ромен Ю.С., Певзнер В.О. Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения. М. : Интекст, 2013. 224 с.
16. Рудановский В.М. Методика определения причин сходов подвижного состава в условиях неопределённости // Вестник ВНИИЖТ. 2011. № 4. С. 10–15.
17. Вагоны. Конструкция, теория и расчет / под ред. Л.А. Шадур. М. : Транспорт, 1980. 439 с.
18. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. М. : Транспорт, 1987. 479 с.

References

1. Bykov B.V. Konstruktsiya telezhek gruzovykh i passazhirskikh vagonov : ucheb. posobiye [Design of trucks and passenger cars: an Illustrated textbook]. Moscow: Route Publ., 2004. 36 p.
2. Verigo M.F., Kogan A.Ya. Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava [Interaction of the track and rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1986. 560 p.
3. Vershinsky S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. Dinamika vagona. 3-ye izd., pererab. i dop. [Dynamics of the car ed. 3]. Moscow: Transport Publ., 1991. 360 p.
4. Gracheva L.A., Pevzner V.O., Anisimov P.C. Pokazateli dinamiki i vozdeystviya na put' gruzovykh chetyrekhosnykh vagonov pri razlichnykh iznosakh telezhek i otstupleniyakh ot norm soderzhaniya v pryamykh uchastkakh puti [Performance Indicators and impact on the way cargo four-axle cars with different wears trucks and derogations from norms in the straight sections of the path]. *Sb. nauch. tr. VNIIZHT [Proc. scientific. Tr. VNIIZHT]*. Moscow, 1976, Vol. 549, pp. 4–25.
5. Doronin I.S. Raschet sheyki osi kolesnoy pary na prodol'nyuyu nagruzku [Calculation of the wheel pair axle neck for longitudinal load]. *Vestnik VNIIZHT [Bulletin VNIIZHT]*, 1978, pp. 33–34.
6. Yershkov O.P. Raschet rel'sa na deystviye bokovykh sil v krivykh [Calculation of the rail on the action of side forces in curves]. *Tr. TSNII MPs [Tr. TSNII MPs]*. Moscow: Transzheldorizdat Publ., 1960, Issue 192, pp. 5–58.
7. Ivanova V.Yu. MDK 02.01 Organizatsiya raboty i upravleniye podrazdeleniyem organizatsii (vagony) (razdel 3) (tema 3.3): fond otsenochnykh sredstv [MDK 02.01 Organization of work and management of the organization's division (wagons) (section 3) (topic 3.3): Fund of evaluation funds]. Moscow: UMTS ZHDT, 2020. 40 p.
8. Instruksiya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu vagonov v ekspluatatsii (instruksiya osmotrshchiku vagonov) № 808-2017-PKB-TST [Instructions for maintenance of cars in operation (instructions to the car inspector) No. 808-2017-PKB-CT].
9. Karpushchenko N.I., Velichko D.V., Bobovnikova N.A. Vliyaniye shiriny kolei i sostoyaniya khodovykh chastei podvizhnogo sostava na intensivnost' iznosov [Influence of track width and condition of running parts of rolling stock on the intensity of wear]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-shiriny-kolei-i-sostoyaniya-hodovykh-chastei-podvizhnogo-sostava-na-intensivnost-iznosov/viewer>. Accessed: August 22, 2021.
10. Kudryavtseva N.N. Dinamicheskiye nagruzki khodovykh chastei gruzovykh vagonov [Dynamic loads of running parts of freight cars]. *Tr. VNIIZHT*. Moscow: Transport Publ., 1977. Issue 572. 144 p.
11. Lukin V.V., Anisimov P.S., Fedoseev Yu.P. Vagony. Obshchiy kurs [Wagons. General course]. Moscow: Route, 2004. 424 p.
12. Pukhov I.V. Mezhdru kolesom i rel'som [Between the wheel and the rail]. *Gudok [Beep]*. Issue 207 (26346). URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1393921> Accessed: September 18, 2021.
13. Romen Yu.S. Dinamika zheleznodorozhnogo ekipazha v rel'sovoy koleye: metody rascheta i ispytaniy [Dynamics of the railway crew in the rail track: methods of calculation and testing]. Moscow: VMG-Print., 2014. 208 p.
14. Romen Yu.S., Muginshtein L.A., Neverova L.I. Vliyaniye prodol'nykh sil v poezdakh na opasnost' skhoda vagona v zavisimosti ot ikh zagruzki [Influence of longitudinal forces in trains on the danger of car derailment depending on their loading]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-prodolnyh-sil-v-poezdah-na-opasnost-shoda-vagonov-v-zavisimosti-ot-ih-zagruzki/viewer> Accessed: April 01, 2021.
15. Romen Yu.S., Pevzner V.O. Osnovy razrabotki normativov soderzhaniya puti i ustanovleniya skorostey dvizheniya [Bases of development of standards of the way maintenance and setting of traffic speeds]. Moscow: Intext Publ., 2013. 224 p.
16. Rudanovsky V. M. Metodika opredeleniya prichin skhodov podvizhnogo sostava v usloviyakh neopredelonnostey [Method for determining the causes of rolling stock gatherings in conditions of uncertainty]. *Vestnik VNIIZHT [Bulletin VNIIZHT]*, 2011, No. 4, pp. 10–15.
17. Vagony. Konstruktsiya, teoriya i raschet. Pod red. L.A. Shadur [Wagons. Construction, theory and calculation. In Shadur L.A. (ed.)]. Moscow: Transport, 1980. 439 p.
18. Shakhunyat G.M. Zheleznodorozhnyy put' [Railway track]. Moscow: Transport, 1987. 479 p.

Информация об авторах

Емельянов Денис Олегович – аспирант кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: emelyanovdenis1995@mail.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

Denis O. Emelyanov – Ph.D. student of the Subdepartment of Rail Cars and Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: emelyanovdenis1995@mail.ru

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