

Исследования возможности снижения степени износа гребня колеса в грузовом вагоне

Ю.И. Матяш, А.Д. Родченко✉, А.Г. Петракова

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Российская Федерация

✉Rodchenko_57@mail.ru

Резюме

Наблюдаемый рост экспорта угля в азиатские страны (Япония, Китай и Индия) потребовал не только увеличения добычи угля по Кузбасскому региону до 16 млн т в год, но и обеспечения его вывоза по направлению Кузбасс – Восток, которое характеризуется большим количеством кривых малого и среднего радиуса. Поэтому был изучен механизм взаимодействия элементов грузового вагона в процессе прохождения вагона в кривой малого радиуса. Установлено, что при движении тележки грузового вагона в кривой малого радиуса возникает необходимость в его повороте с целью отслеживания изменяющегося плана рельсового пути. Однако свободному перемещению тележки грузового вагона препятствует сила трения, возникающая в узле «пятник – подпятник». Показано, что при нормируемых параметрах обточка обода колеса и интенсивности износа гребней колес инновационных вагонов, эксплуатационный пробег колеса может достигать не более 650 тыс. км с последующим демонтажем колеса с колесной пары и его утилизации. Однако в этом случае возникает необходимость демонтировать и кассетный подшипник, который имеет значительный запас по эксплуатационному пробегу (более 35 %). На основании исследований было установлено, что для обеспечения равного эксплуатационного срока службы колеса и кассетного подшипника необходимо снижать коэффициент трения в узлах «пятник – подпятник» грузового вагона (до $f = 0,05$). С этой целью было предложено использовать в узлах трения «пятник – подпятник» самосмазываемые композиционные материалы, включающие многостенные углеродные нанотрубки, обеспечивающие многократное (до 8 раз) снижение коэффициента трения. Это будет способствовать выравниванию эксплуатационного пробега колеса и кассетного буксового узла. Предложенные технические решения позволяют значительно уменьшить число обточек колесных пар и исключить повторное использование кассетных подшипников.

Ключевые слова

грузовой вагон, колесная пара, узел «пятник – подпятник», коэффициент трения, кассетный подшипник, углеродные нанотрубки, буксовый узел

Для цитирования

Матяш Ю.И. Исследования возможности снижения степени износа гребня колеса в грузовом вагоне / Ю.И. Матяш, А.Д. Родченко, А.Г. Петракова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 1 (77). С. 51–59. DOI 10.26731/1813-9108.2023.(77).51-59.

Информация о статье

поступила в редакцию: 31.10.2022 г.; поступила после рецензирования: 16.03.2023 г.; принята к публикации: 17.03.2023 г.

Research of the possibility of reducing wear degree of the wheel edge in a freight wagon

Yu.I. Matyash, A.D. Rodchenko✉, A.G. Petrakova

Omsk State Transport University, Omsk, the Russian Federation

✉Rodchenko_57@mail.ru

Abstract

The observed growth in coal exports to Asian countries (Japan, China and India) required not only to increase coal production in the Kuzbass region up to 16 million tons per year, but also to ensure its export in the Kuzbass – East direction, which is characterized by a large number of curves of small and medium radius. Therefore, the mechanism of interaction between the elements of a freight wagon was studied in the process of the wagon passing through a small radius curve. It has been established that when a freight wagon bogie moves in a small radius curve, it becomes necessary to turn it in order to trace the changing track plan. However, the free movement of the freight wagon bogie is hindered by the friction force that occurs in the node (center plate – thrust bearing). It is shown that with the normalized parameters of turning the wheel rim and the intensity of wear of the wheel flanges of innovative wagons, the operational mileage of the wheel can reach no more than 650 thousand km, with the subsequent dismantling of the wheel from the wheelset and its disposal. However, in this case, it becomes necessary to dismantle the cassette bearing, which has a significant reserve in terms of operating mileage (more than 35 %). Based on the research, it was found that in order to ensure an equal operational life of the wheel and the cassette bearing, it is necessary to reduce the friction coefficient in the node “center plate - thrust bearing” of the freight wagon (up to $f = 0,05$). For this purpose, it was pro-

posed to use self-lubricating composite materials in friction units (center plate - thrust bearing), including multi-walled carbon nanotubes, which provide a multiple (up to 8 times) reduction in the friction coefficient, thereby ensuring alignment of the operating mileage of the wheel and the cassette axlebox assembly. The proposed technical solutions can significantly reduce the number of wheel set grinding and eliminate the reuse of cassette bearings.

Keywords

freight wagon, wheelset, assembly «center plate – thrust bearing», coefficient of friction, cassette bearing, carbon nanotubes, axle box assembly

For citation

Matyash Yu.I., Rodchenko A.D., Petrakova A.G. Issledovaniya vozmozhnosti snizheniya stepeni iznosa grebnya koleasa v gruzovom vagone [Research of the possibility of reducing wear degree of the wheel edge in a freight wagon]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 1 (77), pp. 51–59. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.1(77).51-59.

Article Info

Received: October 31, 2022; Revised: March 16, 2023; Accepted: March 17, 2023.

Введение

Учитывая интенсивное развитие мощностей на подходах к портам Хабаровского края, а также активное обновление железнодорожной отрасли инновационными грузовыми вагонами, оснащенными кассетными подшипниками, появилась возможность в значительной степени увеличить объемы отправки угля из Кузбасса на ст. «Находка – Восточная» Дальневосточной железной дороги [1]. Сдерживающим фактором реализации этого процесса является несогласованность эксплуатационных ресурсов колеса и кассетных подшипников [2–4]. Это объясняется тем, что при выработке эксплуатационного ресурса колеса производят демонтаж и утилизацию отработанного колеса. При этом возникают проблемы с дальнейшим использованием кассетных подшипников, у которых эксплуатационный ресурс выработан не более чем на 35 %. Поэтому у владельцев вагонов появляется желание повторного их использования в рамках «давальческой схемы», которая во многих случаях является причиной схода грузового подвижного состава [5].

В предлагаемой работе проанализированы особенности влияния плана железной дороги, расположенной между Кузбассом и ст. «Находка – Восточная», на интенсивность износа гребня колеса грузового вагона.

Для оценки интенсивности износа гребня колеса грузового вагона был сформирован поезд, который состоял из полувагонов стандартных и инновационных моделей (рис.1). Длина экспериментального участка составляла 5 333 км. Исходное значение геометрии гребней колес обеспечивали при проведении депоовского ремонта, которое составляло в среднем

30–33 мм, а перевод их в неисправное состояние проводился при достижении среднего значения – 27,5 мм. Оценку интенсивности износа гребней колес производили комплексами Конструкторско-технологического института научного приборостроения (КТИ НП) СО РАН. Данные, по которым оценивалась степень износа гребня колеса, приведены в табл. 1 [6].

Таблица 1. Значения показателей степени износа колесной пары
Table 1. Values of indicators of the degree of wear of the wheel set

Показатель Indicator	Величина Value
Средняя толщина гребня колеса при выходе из депоовского ремонта, мм The average thickness of the wheel flange after the depot repair, mm	31,5
Средняя толщина гребня колеса при переводе в неисправное состояние, мм The average thickness of the wheel flange when transferred to a faulty state, mm	27,5
Пробег в груженом состоянии, км Mileage laden, km	5 333
Износ гребня на 10 тыс. км, мм Flange wear per 10 thousand km, mm	0,75

Определение степени износа гребня колеса производилось по формуле:

$$K_{\text{изн.ср.}} = \frac{\text{Износ}}{\text{Расстояние}} * 10\,000 \text{ км} = \\ = \frac{0,4}{5\,333} * 10\,000 \text{ км} = 0,75 \text{ мм.}$$

Из представленных экспериментальных

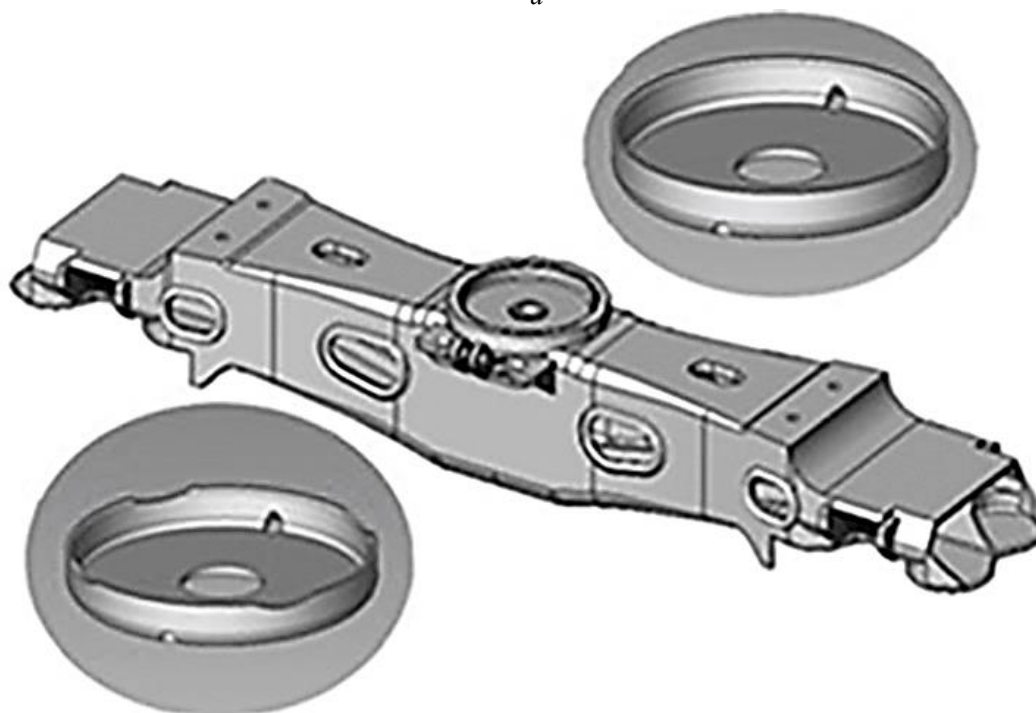
данных [6, 7] следует, что для инновационных вагонов износ гребня после прохождения 10 тыс. км составляет 0,75 мм.

При сравнении столь значительной разницы износа гребней колес для стандартных и

инновационных вагонов, было установлено, что износ гребней колес стандартных вагонов в 1,55 раз больше чем у инновационных. При отношениях коэффициентов трения прирост силы P8 составит $0,15/0,12 = 1,25$. [7–10].



a



b

Рис. 1. Общий вид узлов «пятник – подпятник» для стандартных (*a*) и инновационных вагонов (*б*)
Fig. 1. General view of the nodes «center plate – thrust bearing» for standard (*a*) and innovative wagons (*b*)

На основании этого было высказано предположение о существенном влиянии на степень износа гребня колеса силы трения ($f_{тр}$), возникающей в узле «пятник – подпятник», приводящей к возникновению момента трения (M) при движении вагона, препятствующего свободному перемещению тележки грузового вагона для отслеживания изменения плана железнодорожного пути. Поэтому были проанали-

зированы особенности поведения элементов грузового вагона в процессе его прохождения в кривой малого радиуса. С этой целью на рис. 2, *a* приведена схема распределения силовых нагрузок от кузова вагона, а на рис 2, *б* – схема взаимодействия сил, возникающих в элементах грузового вагона в процессе его прохождения в кривой малого радиуса.

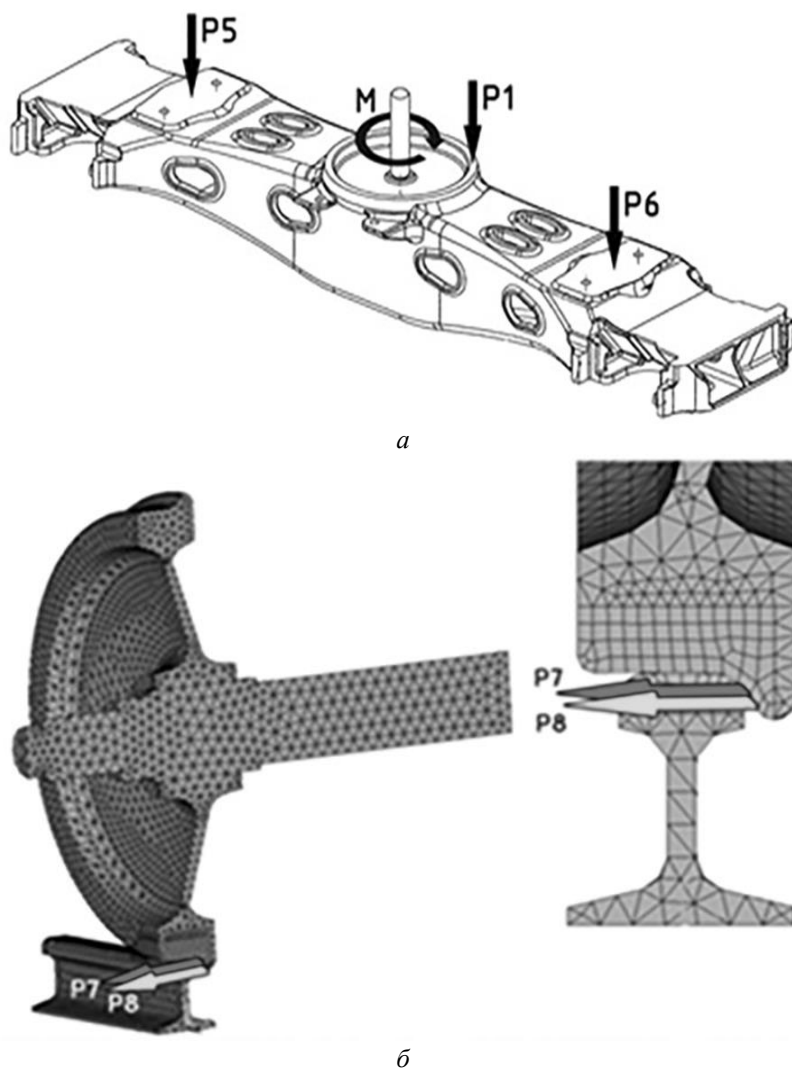


Рис. 2. Схема распределения силовых нагрузок от кузова вагона:

a – P1, P5 и P6 – общая нагрузка от кузова вагона и ее распределение между левой и правой тележками, *M* – момент трения, возникающий при движении вагона; *б* – взаимодействие сил, возникающих в элементах грузового вагона в процессе его прохождения в кривой малого радиуса (P7 – центробежная сила, P8 – сила нормального давления груженого грузового вагона)

Fig. 2. Scheme of power loads distribution from the wagon body:

a – P1, P5 and P6 – the total load of the wagon body, and its distribution between the left and right bogies, *M* – the friction moment that occurs when the wagon moves; *b* – interaction of forces arising in the elements of a freight wagon in the process of its passage in a curve of small radius (P7 – centrifugal force, P8 – normal pressure force of a loaded freight wagon)

Видно, что в процессе движения тележки грузового вагона в кривой малого радиуса возникает необходимость в ее повороте с целью отслеживания изменяющегося плана рельсового пути. Поскольку кузов грузового вагона закреплен на тележке посредством узла «пятника – подпятника», а последний подпятник располагается на надрессорной балке, входящей в состав грузовой тележки (см. рис. 2, а). Однако свободному перемещению тележки в кривой малого радиуса препятствует сила трения $F_{тр}$, возникающая в узле «пятник – подпятник», и момент трения M , возникающий при движении вагона. (см. рис. 2, б).

Далее были определены значения сил P7 и P8, приходящихся на каждую загруженную тележку инновационных вагонов и вызывающие износ гребня 0,75 мм на протяжении 10 тыс. км (см. табл. 1). При этом показано, что с учетом нормируемых параметров проводимой обточки обода колеса и интенсивности износа гребней колес эксплуатационный пробег колеса может достигать 650 тыс. км с последующим демонтажем колеса с колесной пары и его утилизации [11, 12].

Однако следует иметь в виду, что при демонтаже колесной пары возникает необходимость демонтировать не только колесо, но и кассетный подшипник, который имеет значительный запас по эксплуатационному пробегу (более 35 %). Несоответствие значений эксплуатационного пробега кассетно-буксового узла и колеса приводит к такой проблеме, как дальнейшее использование демонтируемого кассетного буксового узла. Соответствие геометрических и поверхностных параметров демонтированных элементов кассетных подшипников (включая ролики) может проводиться с использованием машинного метода (*роботрона*) [5].

Однако при этом отсутствуют достоверные сведения о степени развития дефектов усталостного происхождения. Известно, что при усталостном происхождении дефектов изменяется кристаллическая структура изделий, изготовленных из металла. Появляются микротрещины и происходит скачкообразное нарушение работоспособности изделий (например, изломы боковой рамы тележки грузового вагона или излом шейки оси колесной пары и др.) [12, 13].

Динамика таких крушений, произошедших в течение последних лет, приведена в табл. 2.

Таблица 2. Динамика крушений грузовых поездов

Table 2. Dynamics of freight train derailments

Год возникших происшествий Year of accident	Количество крушений грузовых поездов Number of freight train accidents
2012	17
2013	26
2014	38
2015	39
2016	43
2017	58
2018	63

Анализируя приведенные сведения о крушениях грузовых поездов, можно сказать, что они происходят по причине возникновения дефектов усталостного происхождения в деталях, полученных по «давальческой» схеме передачи деталей вагонов, бывших в употреблении (рис. 3), поэтому на сети ОАО «РЖД» повторное использование элементов кассетных подшипников запрещено.

В связи с этим рациональным выходом из сложившейся ситуации является выравнивание эксплуатационных пробегов колеса и кассетных подшипников путем совершенствования системы работы узла «пятник – подпятник».

На основании обработки экспериментальных данных, полученных в работе [6], показано, что для достижения эксплуатационного пробега колеса грузового вагона, сопоставимого с эксплуатационным пробегом кассетного подшипника (на уровне 1,5 млн км.), необходимо обеспечить коэффициент трения в узле «пятник – подпятник» грузового вагона $f = 0,04$, соблюдая при этом нормируемые параметры обточки обода колеса.

На основе исследования научнотехнической литературы установлено, что наиболее эффективным методом снижения коэффициента трения является использование в узлах трения так называемых самосмазываемых композиционных материалов, включающих неметаллический материал и композицию, поглощающую механическую энергию.

Наибольший интерес представляют многослойные углеродные нанотрубки [11].

Использование полимерных композиционных материалов с наноразмерными наполнителями из углеродных волокон, графита и т. д. позволяет получить композиционные

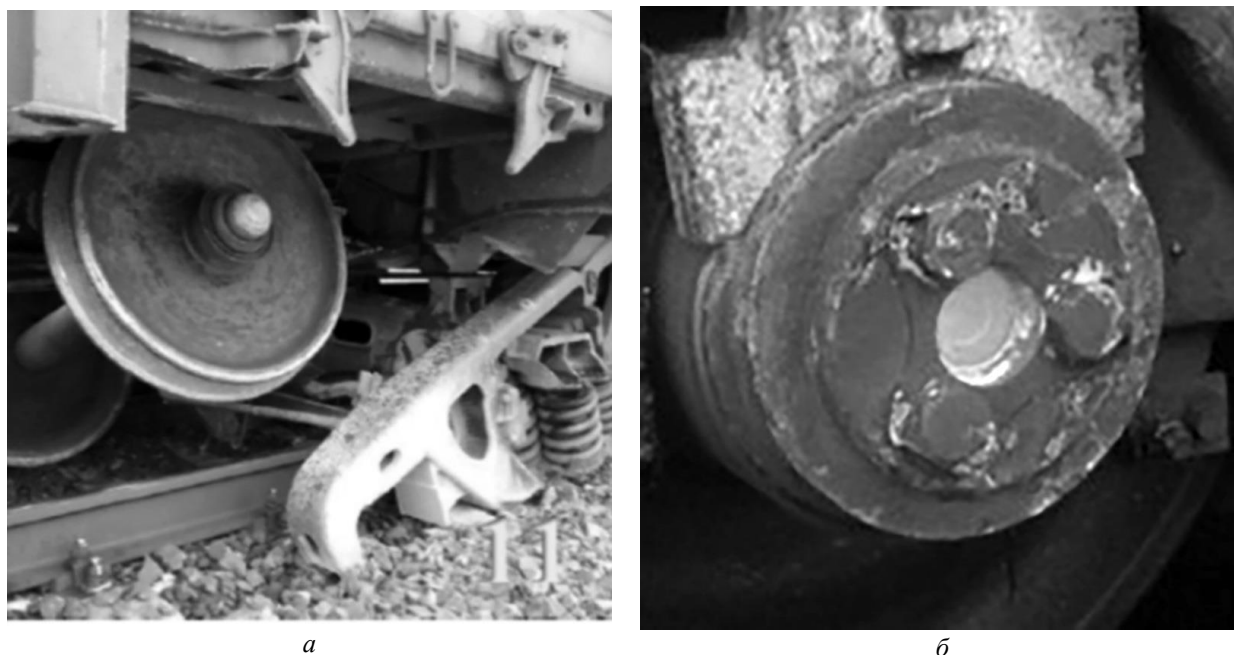


Рис. 3. Крушение грузовых поездов вследствие излома боковой рамы (а) и горячего излома шейки оси (б)
Fig. 3. Crash of freight trains due to a fracture of the side frame (a) and hot fracture of the axle journal (b)

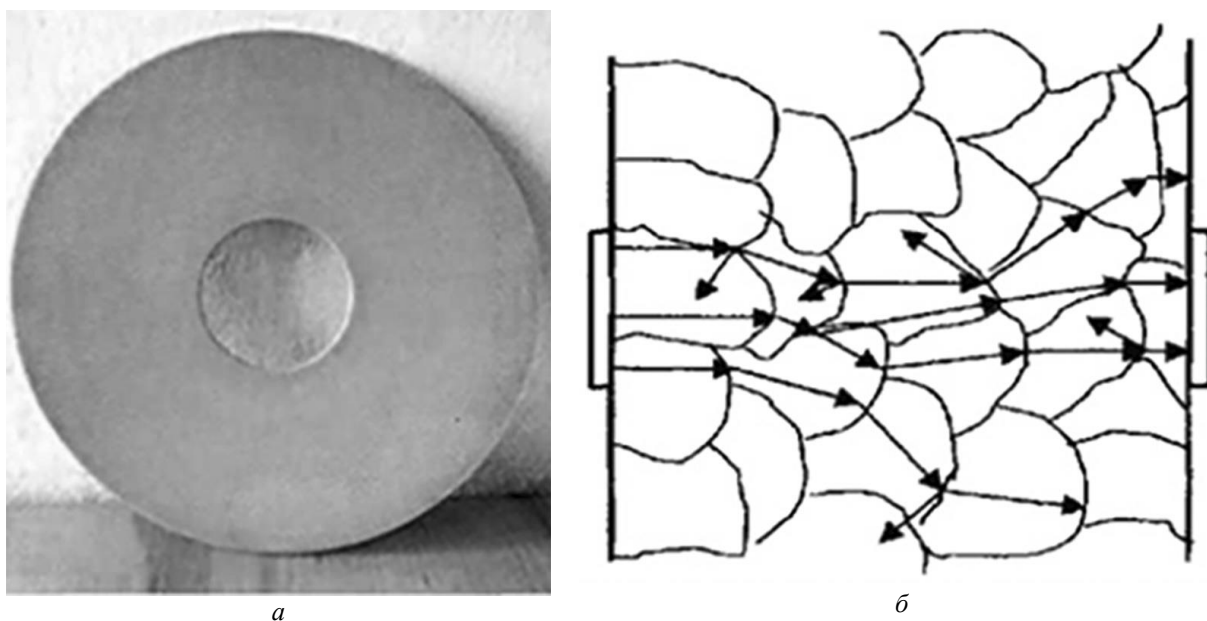


Рис. 4. Общий вид самосмазываемой пластины, содержащей многостенные углеродные нанотрубки (а) и ход лучей в крупнозернистых материалах (б)

Fig. 4. General view of a self-lubricating plate containing multi-walled carbon nanotubes (a) and path of rays in coarse-grained materials (b)

материалы с улучшенными характеристиками [12–14]. Добавление в полимерную матрицу многослойных углеродных трубок поможет снизить (до 8 раз) коэффициент трения и привести к значительному (до 3 000 раз) снижению износа полимерного материала [15]. Это явление

основано на динамическом переходе (*поглощение и рассеяние*) в пористом теле, имеющем нанометровые размеры пор.

При поглощении энергия упругих волн преобразуется в другие виды энергии, в частности в тепловую энергию. При этом происходят

процессы преломления и отражения в упругих средах, характеризующиеся наноразмерными геометрическими параметрами. (рис. 4). На поглощение влияет теплопроводность среды и внутреннее трение.

Рассеяние происходит в результате преломления и отражения волн на границах кристаллов или включениях в неоднородных материалах, которые характеризуются наноразмерными геометрическими параметрами.

В поликристаллических твердых телах процесс рассеяния преобладает над поглощением.

На скорость распространения ультразвуковых волн в поликристаллических твердых телах влияет направление падающей волны к осям кристалла.

При переходе луча из одного зерна в другое возникают отражение, преломление и трансформация волн.

Соотношение между длиной волны λ и средним размером зерна D определяется коэффициентом затухания.

Заключение

Значение коэффициента затухания особенно велико, если средний размер (D) зерна по отношению длины волны составляет $\lambda = (3-4)D$.

Таким образом, доказано, что обеспечение равного эксплуатационного срока службы колеса и кассетного буксового узла можно достичь за счет снижения коэффициента трения в узлах «пятник – подпятник» грузового вагона примерно до коэффициента трения ($f = 0,04$) [12, 17, 18].

Выравнивание по эксплуатационному пробегу ответственных элементов грузового вагона (включая колесо грузового вагона и кассетный буксовый узел) позволит в значительной степени снизить количество вынужденных обточек грузовых колес, исключить из практики повторное использования кассетных подлинников и, тем самым, в значительной мере снизить количество крушений грузовых поездов.

Список литературы

1. Лукс Д.Ю. Оценка динамических качеств грузового вагона, оснащенного тележкой 18–9855 // Известия Транссиба. 2017. №4 (32). С. 16–25.
2. Пути снижения износа гребней колес подвижного состава / В.Н. Кашников, В.М. Рубан, М.В. Гуськова и др. // Вестник РГУПС. 2000. № 3. С. 52–55.
3. Бунькова Т.Г. Об оптимальном соотношении твердости цельнокатаного колеса грузового вагона и железнодорожного рельса // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 1. С. 86–90.
4. Бунькова Т.Г., Ражковский А.А., Петракова А.Г. Обоснование выбора соотношения твердости цельнокатаного колеса и железнодорожного рельса // Инновации для транспорта : сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. Омск, 2010. Ч. 1. С. 74–78.
5. Как должны работать сервисные центры для вагонов на кассетных подшипниках // Евразия вести : сайт. URL: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2017-05a12&ysclid=19f8f8b7hg116390417> (Дата обращения 04.09.2022).
6. Иванова Т.В., Налабордин Д.Г. Сравнительная оценка интенсивности износа гребней стандартных и инновационных колес грузовых вагонов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. № 10. С. 459–460.
7. Налабордин Д.Г., Иванова Т.В., Рудаков В.А. Сравнительная оценка интенсивностей износов гребней стандартных и инновационных колес грузовых вагонов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2017. Т. 2. С. 514–518.
8. Савельев И.В. Курс общей физики. Ч. 1. Механика, колебания и волны, молекулярная физика. М. : Наука, 1970. 511 с.
9. Пат. 103520 Рос. Федерация. Износостойкая защита подпятника надрессорной балки / А.М. Орлова, И.В. Сухих. № 2010144650/11 ; заявл. 02.11.2010 ; опубл. 20.04.2011, Бюл. № 11. 2 с.
10. Пат. 193276 Рос. Федерация. Надрессорная балка с износостойкой защитой подпятника / А.В. Самсонов, А.А. Гореньков, П.М. Нечаев и др. № 2019124900 ; заявл. 05.08.2019 ; опубл. 22.10.2019, Бюл. №30. 9 с.
11. Роцин М.Н. Исследование трибологических свойств новых углеродосодержащих материалов при высоких температурах // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении : науч. тр. VI Междунар. науч. конф. М., 2019. С. 358–359.
12. Савченко М.А. Расчетное обоснование протяженности гарантийного участка пункта технического обслуживания с учетом оценки технического состояния тормозной системы грузовых вагонов : дис. ... канд. техн. наук. М., 2019. 217 с.
13. Изменение физико-химических свойств стальных узлов и деталей железнодорожного транспорта как метод определения остаточного ресурса / Ю.И. Матяш, Ю.М. Сосновский, А.А. Ражковский и др. // Омский научный вестник. 2017. № 4 (154). С. 9–13.
14. Strengthened electrically conductive composites based on ultra-high molecular weight polyethylene filled with fine graphite / O.V. Lebedev, A.S. Kechek'yan, V.G. Shevchenko et al. // Doklady Chemistry. 2014. Vol. 456. № 2. P. 87–90.
15. Cassagnau P. Rheology of Carbon Nanoparticle Suspensions and Nanocomposites // Rheology of Non-Spherical Particle Suspensions. 2015. P. 59–75.
16. Elastic hysteretic properties of damping composite materials for rail transport at low temperatures under static and dynamic

loading / E.G. Kurzina, A.G. Kolmakov, Yu.N. Aksenov et al. // *Russian Metallurgy (Metally)*. 2019. № 10. P. 1090–1094.

17. Damping composites from materials with different elastic hysteresis properties for sandwich shock absorbers of railroad transport / E.G. Kurzina, A.G. Kolmakov, V.N. Filippov et al. // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2020. Vol. 11. № 4. P. 947–954.

18. Петракова А.Г. Влияние криволинейности пути на ресурс колесной пары // *Вагоны и вагонное хозяйство*. 2021. № 2 (66). С. 31–33.

References

1. Luks D.Yu. Otsenka dinamicheskikh kachestv gruzovogo vagona, osnashchennogo telezhkoi 18–9855 [Evaluation of the dynamic qualities of a freight wagon equipped with a bogie 18–9855]. *Izvestiya Transsiba* [Bulletins of Transsib], 2017, no. 4 (32), pp. 16–25.

2. Kashnikov V.N., Ruban V.M., Gus'kova M.V., Zhul'kin M.N., Nelyubov V.P., Pavlov A.P. Puti snizheniya iznosa grebnei koles podvizhnogo sostava [Ways to reduce the wear of wheel flanges of rolling stock]. *Vestnik RGUPS* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2000, no. 3, pp. 52–55.

3. Bun'kova, T.G. Ob optimal'nom sootnoshenii tverdosti tsel'nokatanogo kolesa gruzovogo vagona i zheleznodorozhnogo rel'sa [On the optimal ratio of hardness of a solid-rolled wheel of a freight wagon and a railway rail]. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical bulletin of the Volga region], 2011, no. 1, pp. 86–90.

4. Bun'kova T.G., Razhkovskii A.A., Petrakova A.G. Obosnovanie vybora sootnosheniya tverdosti tsel'nokatanogo kolesa i zheleznodorozhnogo rel'sa [Justification for the choice of the ratio of hardness of a solid-rolled wheel and a railway rail]. *Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii «Innovatsii dlya transporta» (v 3-kh chastyakh)* [Proceedings of the International scientific-technical conference «Innovations for transport»]. Omsk, 2010, vol. 1, pp. 74–78.

5. Kak dolzhny rabotat' servisnye tsentry dlya vagonov na kassetnykh podshpnykh (elektronnyi resurs) [How service centers for wagons on cassette bearings should work (Electronic resource)]. Available at: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2017-05a12&ysclid=19f8fbb7hg116390417> (Accessed September 4, 2022).

6. Ivanova, T.V., Nalabordin, D.G. Sravnitel'naya otsenka intensivnosti iznosa grebnei standartnykh i innovatsionnykh koles gruzovykh vagonov [Comparative assessment of the wear intensity of the ridges of standard and innovative wheels of freight wagons]. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii* [Assembly in mechanical engineering, instrument making], 2017, no. 10, pp. 459–460.

7. Nalabordin D.G., Ivanova T.V., Rudakov V.A. Sravnitel'naya otsenka intensivnosti iznosov grebnei standartnykh i innovatsionnykh koles gruzovykh vagonov [Comparative assessment of the wear rates of the ridges of standard and innovative wheels of freight wagons]. *Materialy VIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the VIII International scientific-practical conference «Transport infrastructure of Siberian region»], 2017, vol. 2, pp. 514–518.

8. Savel'ev I.V. Kurs obshchei fiziki (V 3-kh chastyakh). Ch. 1. Mekhanika, kolebaniya i volny, molekulyarnaya fizika [Course of general physics (In 3 volumes). Vol. 1. Mechanics, oscillations and waves, molecular physics]. Moscow: Nauka Publ., 1970. 511 p.

9. Orlova A.M., Sukhikh I.V. Patent RU 103520 U1, 20.04.2011.

10. Samsonov A.V., Goren'kov A.A., Nechaev P.M., Abakumov A.A., Vlasko A.S. Patent RU 193276 U1, 22.10.2019.

11. Roshchin M.N. Issledovanie tribologicheskikh svoystv novykh uglerodosoderzhashchikh materialov pri vysokikh temperaturakh [Study of the tribological properties of new carbon-containing materials at high temperatures]. *Nauchnye trudy VI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Fundamental'nye issledovaniya i innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii»* [Proceedings of the VI International scientific conference «Fundamental research and innovative technologies in mechanical engineering»]. Moscow, 2019, pp. 358–359.

12. Savchenko M.A. Raschetnoe obosnovanie protyazhennosti garantiinogo uchastka punkta tekhnicheskogo obsluzhivaniya s uchetom otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya tormoznoy sistemy gruzovykh vagonov [Calculation substantiation of the length of the warranty section of the maintenance point, taking into account the assessment of the technical condition of the brake system of freight wagons]. Ph.D.'s thesis. Moscow, 2019. 217 p.

13. Matyash Yu.I., Sosnovskii Yu.M., Razhkovskii A.A., Kondrikov E.M. Izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv stal'nykh uzlov i detalei zheleznodorozhnogo transporta kak metod opredeleniya ostatochnogo resursa [Change of physic – chemical properties of steel units and parts for railway transport as a method of determining the master current resource]. *Omskii nauchnyi vestnik* [Omsk scientific bulletin], 2017, no. 4 (154), pp. 9–13.

14. Lebedev O.V., Kechek'yan A.S., Shevchenko V.G., Kurkin T.S., Beshenko M.A., Ozerin A.N. Strengthened electrically conductive composites based on ultra-high molecular weight polyethylene filled with fine graphite. *Doklady Chemistry*, 2014, vol. 456, no. 2, pp. 87–90.

15. Cassagnau P. Rheology of Carbon Nanoparticle Suspensions and Nanocomposites. *Rheology of Non-Spherical Particle Suspensions*. 2015, pp. 59–75.

16. Kurzina E.G., Kolmakov A.G., Aksenov Yu.N., Kurzina A.M., Bogachev A.Yu., Semak A.V. Elastic hysteretic properties of damping composite materials for rail transport at low temperatures under static and dynamic loading. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2019, no. 10, pp. 1090–1094.

17. Kurzina E.G., Kolmakov A.G., Filippov V.N., Semak A.V., Kurzina A.M. Damping composites from materials with different elastic hysteresis properties for sandwich shock absorbers of railroad transport. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2020, vol. 11, no. 4, pp. 947–954.

18. Petrakova A.G. Vliyaniye krivolineinosti puti na resurs kolesnoi pary [Influence of path curve-linearity on the resource of a wheel pair]. *Vagony i vagonnoe khozyaistvo* [Wagons and wagon facilities], 2021, no. 2 (66), pp. 31–33.

Информация об авторах

Матяш Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск; e-mail: matiash41@mail.ru.

Родченко Александр Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск; e-mail: Rodchenko_57@mail.ru.

Петракова Анна Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск; e-mail: petra-anna@yandex.ru.

Information about the authors

Yurii I. Matyash, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Wagons and wagon facilities, Omsk State Transport University, Omsk; e-mail: matiash41@mail.ru.

Alexander D. Rodchenko, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Wagons and wagon facilities, Omsk State Transport University, Omsk; e-mail: rodchenko_57@mail.ru.

Anna G. Petrakova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Wagons and wagon facilities, Omsk State Transport University, Omsk; e-mail: petra-anna@yandex.ru.