

# Анализ стабильности подуклонки как фактора, определяющего боковой износ рельсов

Е. А. СИДОРОВА<sup>1</sup>, Р. М. КУРТИКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)), Москва, 127994, Россия

**Аннотация.** Снижение интенсивности бокового износа рельсов по-прежнему остается важной задачей отраслевой науки. В рамках решения этой задачи проводятся исследования влияния на износ рельсов геометрии рельсовой колеи, интенсивности силового взаимодействия колес и рельсов, трибологических характеристик контактирующих поверхностей. В статье основное внимание уделено влиянию на износ геометрии рельсовой колеи, а именно подуклонки рельсов. Сформулировано определение стабильности подуклонки рельсов, позволяющее перейти к оценке этого показателя как по времени, так и по длине участка пути. Оценка стабильности подуклонки по времени проводилась на основе экспериментальных данных, полученных в ходе натурных исследований, проведенных в 2019–2020 гг. на Московской железной дороге. В результате оценки этих данных была построена зависимость изменения средних значений и среднеквадратического отклонения подуклонки рельсов на участке от времени. Средние значения и среднеквадратическое отклонение подуклонки на исследуемом участке рассматриваются в данной статье как совокупность параметров, позволяющих дать оценку стабильности подуклонки. Помимо этих параметров, предложено оценивать стабильность подуклонки рельсов по длине участка на основании отвода подуклонки и среднеквадратического отклонения. Оценка стабильности подуклонки рельсов по длине участка проводилась с использованием расчетов, выполненных в программном комплексе «Универсальный механизм». В результате расчетов были получены значения рамных и боковых сил и произведена оценка их максимальных и средних значений на участке. Это позволило ответить на вопрос: как влияет отвод подуклонки рельсов на уровень силового взаимодействия в точке контакта колес и рельсов, а значит, и на интенсивность изнашивания?

**Ключевые слова:** железнодорожный путь; подуклонка рельсов; боковые силы; рамные силы; стабильность железнодорожного пути

**Введение.** Боковой износ рельсов на сегодняшний день остается актуальной проблемой, требующей решения на сети железных дорог. Повышение нагрузки на ось и рост грузонапряженности на сети усложняют работу железнодорожного пути и обостряют вопросы, связанные с техническим обслуживанием инфраструктуры. В этих условиях важным становится контроль всех параметров пути, в том числе геометрии, которая, как многократно было отмечено в существующих исследованиях, влияет на рост сил взаимодей-

ствия пути и подвижного состава и на интенсивность износа [1, 2, 3, 4, 5].

Одним из таких контролируемых параметров железнодорожного пути является подуклонка рельсов [6, 7]. Значения подуклонки рельсов согласно [8] не должны выходить за границы установленного диапазона: не более 1/12 (включительно) и не менее 1/60 (включительно). При этом подуклонка рельсов — это параметр, который может изменяться в диапазоне указанных значений по длине участка пути. Это связано с характером движения железнодорожного подвижного состава, а также с тем, что сохранение стабильности подуклонки является трудоемкой задачей технического обслуживания пути [9].

Говоря о стабильности подуклонки рельсов, можно сформулировать следующее определение: стабильность подуклонки рельсов — это способность рельсовой колеи сохранять постоянство характеристик подуклонки рельсов по длине участка и времени.

Далее рассмотрим подробнее, какие характеристики подуклонки рельсов необходимо учитывать при оценке ее стабильности, а также покажем взаимосвязь между этими характеристиками и интенсивностью износа рельсов.

**Стабильность подуклонки рельсов по времени.** Одним из основополагающих показателей стабильности подуклонки рельсов является способность сохранять постоянство во времени с ростом пропущенного тоннажа.

В 2019–2020 гг. на Московской железной дороге были проведены эксперименты по измерению подуклонки на различных участках пути [10, 11]. Измерения проводились с периодичностью, позволяющей выявить изменения подуклонки рельсов за период времени.

На рис. 1 представлены результаты измерения средних значений и среднеквадратического отклонения (СКО) подуклонки рельсов в двух кривых малого радиуса (300 и 350 м), полученные на участке Московской железной дороги.

Из рисунка виден одинаковый характер изменения подуклонки рельсов со временем в кривых мало-

го радиуса, при котором средние значения подуклонки увеличиваются в сторону предельного значения 1/12, а величины СКО подуклонки при этом снижаются, демонстрируя ее менее резкое отклонение по длине участка [11].

**Стабильность подуклонки рельсов по длине участка.** Охарактеризовать стабильность подуклонки рельсов по длине пути можно по двум показателям: крутизне отвода подуклонки на участке и СКО подуклонки [12]. Отвод подуклонки рельсов определяет интенсивность изменения подуклонки рельсов по длине пути и может быть рассчитан как отношение разницы величин подуклонки в начале и в конце участка  $\Delta\varphi$  к длине участка  $dl$ .

При новом профиле рельса и величине проектной подуклонки, равной 1/20, отвод на длине 1 м не должен превышать 1/167, или  $\approx 0,006$  рад. Превышение предельных значений ведет к повышенной интенсивности бокового износа рельсов в зависимости от длины участка.

Влияние этого показателя на силовое взаимодействие пути и подвижного состава оценивалось расчетными методами в программном комплексе «Универсальный механизм». Для этого в программный комплекс были заложены шесть участков пути с различными значениями подуклонки. Среднее значение подуклонки на всех шести участках принималось нормативным, т. е. равным 0,05 (1/20).

На первых трех участках величина СКО подуклонки была задана в  $\pm 0,03$ . Таким образом, максимальные и минимальные отклонения подуклонки варьировались практически во всем диапазоне допустимых значений (от 0,02 до 0,08). Изменяя расстояние между максимумами и минимумами подуклонки, на рассматриваемых трех участках были заданы различные значения отвода подуклонки рельсов: 0,003; 0,005 и 0,009 1/мм.

На трех других участках величина СКО подуклонки принималась в два раза меньшей — равной 0,015. Следовательно, на этих участках были заданы значения отвода подуклонки рельсов равные 0,0015; 0,002 и 0,0045 1/мм.

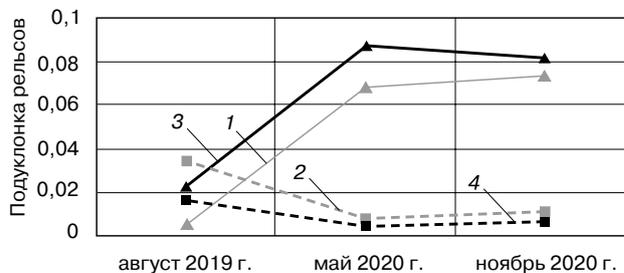


Рис. 1. Результаты измерения подуклонки рельсов на Московской железной дороге: 1 — средние значения в кривой  $R=300$  м; 2 — СКО в кривой  $R=300$  м; 3 — средние значения в кривой  $R=350$  м; 4 — СКО в кривой  $R=350$  м  
Fig. 1. Results of measuring the rail canting on the Moscow Railway: 1 — average values in the curve  $R=300$  m; 2 — standard deviation (SD) in the curve  $R=300$  m; 3 — average values in the curve  $R=350$  m; 4 — SD in curve  $R=350$  m

Показатели взаимодействия пути и подвижного состава (боковые и рамные силы) рассчитывались для условий движения грузового вагона с нагрузкой 23,5 тс со скоростью 60 км/ч на прямом участке пути и в кривой радиусом 1000 м. Параметры кривой задавались таким образом, чтобы обеспечить движение вагона с непогашенным ускорением, близким к нулю.

Результаты расчетов представлены на рис. 2 и 3. Кроме средних значений боковых и рамных сил, которые, как известно, являются одним из показателей, характеризующих интенсивность износа рельсов, оценивались и СКО полученных осциллограмм. При такой оценке можно не только проследить зависимость роста сил от увеличения крутизны отвода подуклонки, но и характер силового воздействия, приводящий к колебаниям кузова вагона и к неравномерному износу рельсов на участках.

На рис. 4 представлен пример одной из осциллограмм рамных сил, полученной расчетом, при движении грузового вагона по прямому участку пути с изменениями подуклонки с отводами 0,0015 1/мм.

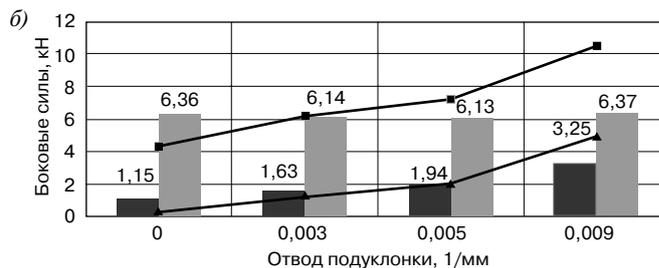
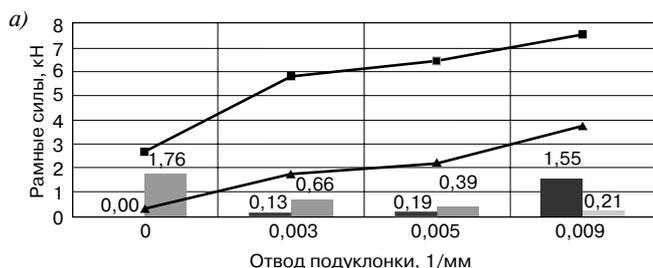


Рис. 2. Результаты расчетов на участках с подуклонкой рельсов при величине СКО  $\pm 0,03$  для рамных (а) и для боковых (б) сил:

■ средние значения в прямой    ■ средние значения в кривой    — СКО в прямой    — СКО в кривой  
Fig. 2. Calculation results for sections with rail canting at SD  $\pm 0,03$  for frame (a) and for lateral (b) forces:  
■ mean values in tangent section    ■ mean values in curve    — SD in tangent section    — SD in curve

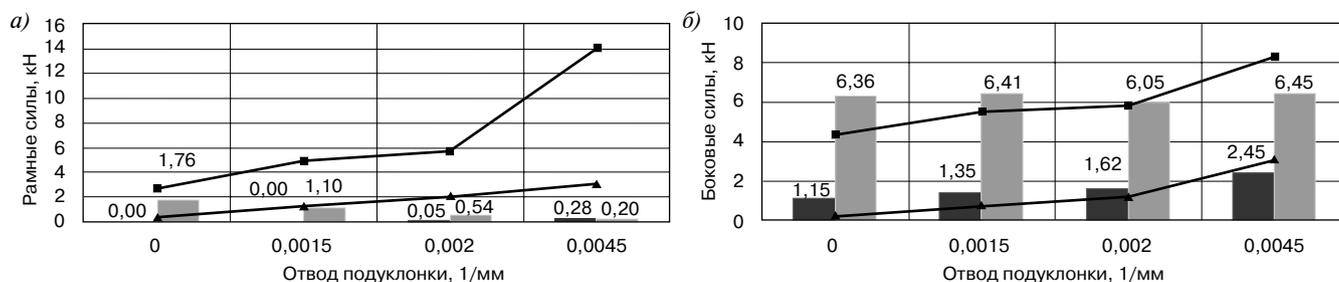


Рис. 3. Результаты расчетов на участках с подуклонкой рельсов при величине СКО  $\pm 0,015$  для рамных (а) и для боковых (б) сил: ■ средние значения в прямой □ средние значения в кривой ▲ СКО в прямой ■ СКО в кривой

Fig. 3. Calculation results for sections with rail canting at SD  $\pm 0,015$  for frame (a) and for lateral (b) forces: ■ mean values in tangent section □ mean values in curve ▲ SD in tangent section ■ SD in curve

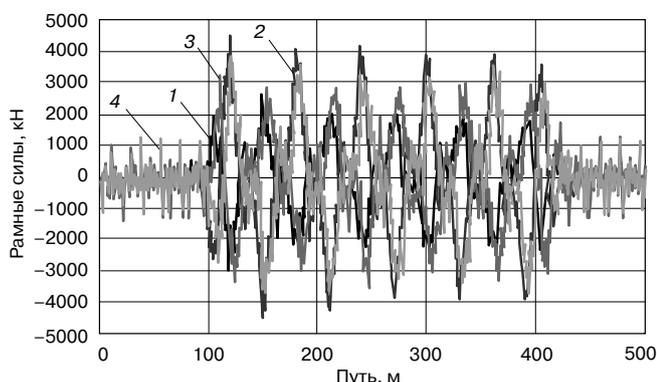


Рис. 4. Осциллограмма рамных сил: 1 — первая колесная пара; 2 — вторая колесная пара; 3 — третья колесная пара; 4 — четвертая колесная пара

Fig. 4. Oscillogram of frame forces: 1 — first wheelset; 2 — second wheelset; 3 — third wheelset; 4 — fourth wheelset

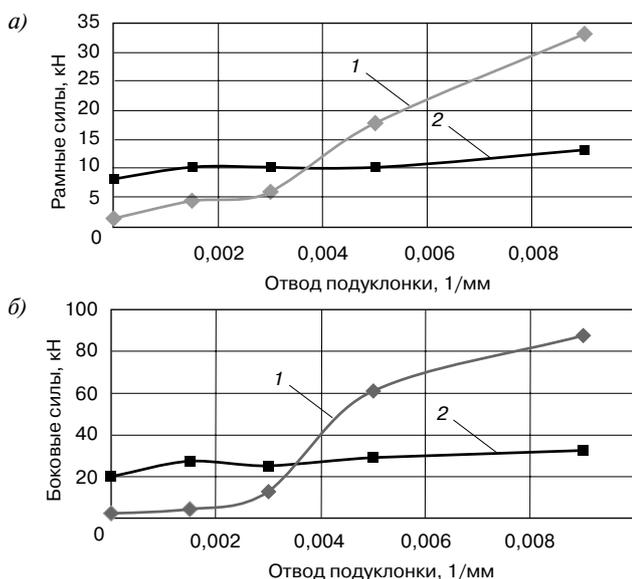


Рис. 5. Рассчитанные максимумы рамных (а) и боковых (б) сил для различных отводов подуклонки рельсов: 1 — прямая; 2 — кривая

Fig. 5. Calculated maxima of frame (a) and lateral (b) forces for various shifts of the rail canting: 1 — tangent section; 2 — curve

Из осциллограммы виден характер влияния изменений подуклонки на динамику вагона на прямом участке пути: заметно резкое увеличение рамных сил на участке с изменяющейся подуклонкой (от 100 до 400 м) по сравнению с участками с постоянной подуклонкой (от 0 до 100 м и от 400 до 500 м).

По полученным расчетом осциллограммам проводилась также оценка максимумов значений рамных и боковых сил. Результаты представлены в виде графиков на рис. 5.

Из рисунка видно, что увеличение отвода подуклонки приводит к существенному росту боковых сил на прямом участке пути, причем превышение отводом подуклонки отметки 0,005 1/мм обуславливает рост их интенсивности.

**Выводы.** Полученные результаты расчетов и натурных исследований подчеркивают необходимость поддержания стабильности подуклонки рельсов, которая должна оцениваться по двум факторам: интенсивности изменения со временем и интенсивности изменения по длине участка (отвод подуклонки). В качестве допустимой величины для отвода подуклонки целесообразно принять значение 0,004 1/мм, основываясь на результатах выполненных расчетов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Певзнер В.О., Белоцветова О.Ю., Потапов А.В. Результаты наблюдений по оценке влияния эксплуатационных факторов на боковой износ рельсов // Вестник ВНИИЖТ. 2016. Т. 75. № 4. С. 242–247. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-242-247>.
2. Влияние эксплуатационных факторов на уширение колеи и боковой износ рельсов / В. О. Певзнер [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 1. С. 8–11.
3. Жаров И.А., Захаров С.М. Зависимость типа изнашивания колес и рельсов от параметров их контакта и ширины колеи // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 2. С. 46–49.
4. Параметры колеи и износ рельсов в кривых / Н.И. Карпушенко [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2007. № 11 (2). С. 7–9.
5. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес. М.: ПКТБ ЦП МПС, 1997. 207 с.

6. Zakeri J.-A., Fathali M., Roundsari N.B. Effects of rail cant on wheel-rail contact forces in slab tracks // *International Journal of Mechanics and Applications*. 2011. No. 1 (1). P. 12–21.

7. Певзнер В. О., Потапов А. В., Белоцветова О. Ю. Подуклонка рельсов и ее связь с безопасностью движения и боковым износом // *Путь и путевое хозяйство*. 2018. № 2. С. 30–33.

8. Об утверждении и введении в действие Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути [Электронный ресурс]: распоряжение ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288р (ред. от 8 июня 2020 г.). URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=692153#049192640458186054> (дата обращения: 13.04.2021 г.).

9. Потапов А. В. Система оценки, контроля и регулирования подуклонки лежащих в пути рельсов // *Наука и техника транспорта*. 2019. № 1. С. 58–62.

10. Куртиков Р. М. Результаты наблюдений по оценке влияния подуклонки рельсов на боковой износ рельсов // *Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти проф. Г. М. Шахунянца (Москва, 3–4 апреля 2019 г.)*. М.: РУТ (МИИТ), 2019. С. 266–269.

11. Куртиков Р. М. Неравномерность бокового износа и подуклонки рельсов в кривых участках пути // *Аспирантские чтения: сб. науч. ст. аспирантов ИПСС РУТ (МИИТ)*. М.: Перо, 2020. Вып. 3. С. 31–33.

12. Потапов А. В., Певзнер В. О., Михайлов В. В. Подуклонка лежащих в пути рельсов (теория и практика). Саратов: Наука, 2009. 101 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**СИДОРОВА Елена Анатольевна**, канд. техн. наук, научный центр «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо—рельс», АО «ВНИИЖТ»

**КУРТИКОВ Роман Михайлович**, старший преподаватель, кафедра «Путь и путевое хозяйство», ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

Статья поступила в редакцию 16.04.2021 г., принята к публикации 29.04.2021 г.

**Для цитирования:** Сидорова Е. А., Куртиков Р. М. Анализ стабильности подуклонки как фактора, определяющего боковой износ рельсов // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ)*. 2021. Т. 80. № 3. С. 136–140. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-136-140>.

## Analysis of the canting stability as a factor determining the lateral wear of rails

E. A. SIDOROVA<sup>1</sup>, R. M. KURTIKOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC “VNIIZHT”), Moscow, 129626, Russia

<sup>2</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian University of Transport” (FGAOU VO “RUT” (MIIT)), Moscow, 127994, Russia

**Abstract.** Reducing the intensity of rail lateral wear remains an important task for industry science. As part of solving this problem, studies are being carried out on the influence of the geometry of the rail track on the wear of rails, the intensity of the force interaction of wheels and rails, the tribological characteristics of the contacting surfaces. The article focuses on the influence on the wear of the geometry of the rail track, namely the rail canting. The definition of the stability of the rail canting has been formulated, which makes it possible to proceed to the assessment of this indicator both in time and in the length of the track section. The assessment of the canting stability over time was carried out on the basis of experimental data obtained in the course of field studies carried out in 2019–2020 on the Moscow Railway. As a result of evaluating these data, the dependence of the change in the average values and the standard deviation of the rail canting in the section on time was built. The average values and standard deviation of the canting in the investigated area are considered in this article as a set of parameters that make it possible to assess the canting stability. In addition to these parameters, it is proposed to evaluate the canting stability along the length of the section based on the canting offset and the standard deviation. The assessment of the stability of the rail canting along the length of the section was carried out using calculations performed in the “Universal Mechanism” software package. As a result of calculations, the values of frame and lateral forces were obtained and an assessment of their maximum and average values at the site was made. This made it possible to answer the question: how does the retraction of the rail canting affect the level of force interaction at the point of contact between the wheels and rails, and, hence, the wear rate?

**Keywords:** railway track; rail canting; lateral forces; frame forces; railway track stability

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-136-140>

## REFERENCES

1. Pevzner V.O., Belotsvetova O.Yu., Potapov A.V. *Rezultaty nablyudeniya po otsenke vliyaniya ekspluatatsionnykh faktorov na bokovoy iznos rel'sov* [Results of observations to evaluate the impact of operational factors on the side rail wear]. *Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute]*, 2016, Vol. 75, no. 4, pp. 242–247. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-242-247>.
2. Pevzner V.O., Belotsvetova O.Yu., Tret'yakov V.V., Potapov A.V., Petropavlovskaya I.B., Tret'yakov I.V., Goryunov A.V. *Vliyanie ekspluatatsionnykh faktorov na ushirenie kolei i bokovoy iznos rel'sov* [Influence of operational factors on track widening and lateral wear of rails]. *Railway Track and Facilities*, 2013, no. 1, pp. 8–11.
3. Zharov I.A., Zakharov S.M. *Zavisimost' tipa iznashivaniya koles i rel'sov ot parametrov ikh kontakta i shiriny kolei* [Dependency between type of wear and rail wear and parameters of contact and track gauge]. *Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute]*, 2010, no. 2, pp. 46–49.
4. Karpushchenko N.I., Kozlov A.P., Kotova I.A., Antereykin E.S. *Parametry kolei i iznos rel'sov v krivykh* [Track parameters and rail wear in curves]. *Railway Track and Facilities*, 2007, no. 11 (2), pp. 7–9.
5. Verigo M.F. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava v krivykh malogo radiusa i bor'ba s bokovym iznosom rel'sov i grebney*

*koles* [Interaction of track and rolling stock in small radius curves and fight against lateral wear of rails and wheel flanges]. Moscow, PKTB TsP MPS Publ., 1997, 207 p.

6. Zakeri J.-A., Fathali M., Roundsari N.B. *Effects of rail cant on wheel-rail contact forces in slab tracks*. International Journal of Mechanics and Applications, 2011, no. 1 (1), pp. 12–21.

7. Pevzner V.O., Potapov A.V., Belotsvetova O. Yu. *Poduklonka rel'sov i ee svyaz' s bezopasnost'yu dvizheniya i bokovym iznosom* [Rail canting and its connection with traffic safety and lateral wear]. Railway Track and Facilities, 2018, no. 2, pp. 30–33.

8. *Ob utverzhdenii i vvedenii v deystvie Instruktsii po tekushchemu sodержaniyu zheleznodorozhnogo puti* [On the approval and implementation of the instruction on the current maintenance of the railway track]. Order of the JSC "Russian Railways" dated November 14, 2016 No. 2288r. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=692153#049192640458186054> (retrieved on 13.04.2021) (in Russ.).

9. Potapov A.V. *Sistema otsenki, kontrolya i regulirovaniya poduklonki lezhashchikh v puti rel'sov* [System of evaluation, control and regulation of the rails lying in the track]. Science and Technology in transport, 2019, no. 1, pp. 58–62.

10. Kurtikov R.M. *Rezultaty nablyudeniya po otsenke vliyaniya poduklonki rel'sov na bokovoy iznos rel'sov* [Results of observations on the assessment of the influence of rail canting on lateral wear of rails]. Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti. Materialy

XVI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy pamyati prof. G.M. Shakhnyantsa (Moskva, 3–4 aprelya 2019 g.) [Modern problems of design, construction and operation of a railway track. Materials of the XVI Int. scientific and technical conf. dedicated to the memory of prof. G.M. Shakhnyants (Moscow, April 3–4, 2019)]. Moscow, RUT (MIIT) Publ., 2019, pp. 266–269.

11. Kurtikov R.M. *Neravnomernost' bokovogo iznosa i poduklonki rel'sov v krivykh uchastkakh puti* [Unevenness of lateral wear and rail canting in curved sections of the track]. Aspirantskie chteniya. Sb. nauch. st. aspirantov IPSS RUT (MIIT) [Postgraduate reading. Coll. of scientific articles of IPSS RUT (MIIT) graduates]. Moscow, Pero Publ., 2020, issue 3, pp. 31–33.

12. Potapov A.V., Pevzner V.O., Mikhaylov V.V. *Poduklonka lezhashchikh v puti rel'sov (teoriya i praktika)* [Canting of rails lying in the track (theory and practice)]. Saratov, Nauka Publ., 2009, 101 p.

## ABOUT THE AUTHORS

### Elena A. SIDOROVA,

Cand. Sci. (Eng.), Scientific Center "Track infrastructure and issues of wheel–rail interaction", JSC "VNIIZHT"

### Roman M. KURTIKOV,

Senior Lecturer, Department "Track and Track Facilities", FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Received 16.04.2021

Accepted 29.04.2021

■ E-mail: Sidorova.Elena@vniizht.ru (E. A. Sidorova)

**For citation:** Sidorova E. A., Kurtikov R. M. Analysis of the canting stability as a factor determining the lateral wear of rails // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (3): 136–140 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-136-140>.

## ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

**Максимов И. Н., Кондрашов В. М.** Альтернативные методы исследования динамики железнодорожных экипажей. М.: РАС, 2019. 108 с.

В книге подробно изложена методика исследования динамики железнодорожных экипажей, в основе которой лежит оригинальный подход к моделированию движения колесных пар железнодорожных экипажей в рельсовой колее, позволяющий реализовывать движение экипажей любой осности в прямых и кривых участках пути в режимах выбега, тяги и торможения.

**Марков Д. П.** Атомно-молекулярные механизмы вещественного трения. М.: РАС, 2019. 102 с.

В монографии представлены результаты 40-летних поисков ответа на вопрос «Что такое трение?». Даны определения полевого и вещественного трения. Уточнены понятия и особенности действия адгезионных и когезионных сил межатомного притяжения, введено понятие дегезионных сил межатомного отталкивания. Предложены новые атомно-молекулярные теории внешнего трения и изнашивания, течения жидкостей, дислокационной и аморфной

**Ромен Ю. С.** Взаимодействие пути и экипажа в рельсовой колее. М.: РАС, 2019. 160 с.

Рассмотрены проблемы системы «колесо–рельс». Дано описание основных этапов моделирования динамических процессов и проведения испытаний. Изложена методика составления математической модели движения подвижного состава и определения параметров взаимодействия подвижного состава и пути в процессе испытаний. Показано влияние состояния поверхности катания на силы вписывания, а также влияние неровностей на колебания тележки.

Представлены алгоритмы описания профиля колеса и рельса, позволяющие исследовать влияние отдельных участков профилей на динамические качества подвижного состава, безопасность движения и износ колес колесных пар. Приведена методика прогнозирования износа профиля и изменения его формы в зависимости от пробега.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта, также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

пластической деформации и разрушения кристаллических тел. Выдвинута гипотеза активации плавления, кристаллизации, пластической деформации и других процессов волнового акустического теплового диапазона и произведена оценка их параметров. На обсуждение выносятся 14 гипотез, очерчивающих контуры теории вещественного трения на границе и внутри твердых тел, в жидкостях и газах.

Монография предназначена для научных и научно-технических работников железнодорожного транспорта, также может быть полезна преподавателям и студентам вузов.

Книга предназначена для научных и научно-технических работников железнодорожного транспорта, а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

*По вопросам приобретения книг обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мятисинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».*

*Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.*