

Д. А. Гребнева<sup>1</sup>, И. Л. Парахненко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный университет путей и сообщения, г. Екатеринбург, Российская Федерация

## ВЛИЯНИЕ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОЙ РЕЛЬСОВОЙ НИТИ НА СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КОНТАКТЕ КОЛЕСО-РЕЛЬС В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

**Аннотация.** На железных дорогах в Российской Федерации общая протяженность криволинейных участков составляет 33% от их общей длины. Боковой износ колес и рельсов остается проблемой на всей железнодорожной сети, уменьшая срок их службы, что связано со значительными материальными потерями. Боковой износ рельсовых нитей в кривых участках является проблемой как для ученых, так и для практиков. Большое количество работ посвящено этому вопросу [1-3]. Величина бокового износа определяется силами взаимодействия колеса и рельса. Основными в этом взаимодействии являются скорость и пространственное положение. Параметры, определяющие пространственное положение – состояние рельсовой колеи в плане и возвышение наружного рельса. Возвышение наружной рельсовой нити устанавливается на сравнительно длительный период времени и оказывает длительное влияние на боковой износ. Выявление взаимосвязи между возвышением и силами взаимодействия, возникающими в контакте «колесо-рельс», является актуальной задачей в настоящее время. В зависимости от условий прохождения поездом кривой, возможно проскальзывание как наружного колеса колесной пары, так и внутреннего, которое интенсифицирует процесс бокового износа. Проскальзывание наружного или внутреннего колеса зависит от соотношения сил, действующих на эти колеса. За счет определения оптимальной величины возвышения наружного рельса возможно уменьшить проскальзывание гребня колеса по боковой поверхности рельса, снизить возникающие продольные и боковые силы.

**Ключевые слова:** возвышение наружной рельсовой нити, продольная сила, боковая сила

D. A. Grebneva<sup>1</sup>, I.L.Parakhnenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, the Russian Federation

## INFLUENCE OF THE ELEVATION OF THE OUTER RAIL THREAD ON THE INTERACTION FORCES IN THE WHEEL-RAIL CONTACT IN THE CURVED SECTIONS OF THE RAILWAY TRACK

**Abstract.** Railways on in the Russian Federation, the total length of curved sections is 33% of their total length. Side deterioration of wheels and rails saved a problem on the road. throughout the railway network, reducing their service life, which is associated with significant material losses. Lateral wear of rail threads in curved sections is a problem for both scientists and practitioners. A large of point of work are devoted to this [1-3]. The amount of lateral wear is determined by the forces of experiment between the wheel and the rail. The main factors in this interaction are speed and spatial position. Parameters that determine the spatial position – the state of the rails way in the plan and the height of the under rails. The height of the outer rail thread is set for a relatively long period of time and has a long-term effect on lateral wear. Identification of the relationship between the elevation and the interaction forces arising in the "wheel-rail" contact is an urgent challenge at the currently time. That depends on the condition of the train passing the curve, both the outer wheel of the wheelset and the inner wheel may slip, which intensifies the process of lateral wear. The slippage of the outer or inner wheel depends on the relative forces acting on these wheels. By determining the optimal elevation of the outer rail, it is possible to reduce the sliding of the wheel crest along the side surface of the rail, and to reduce the resulting longitudinal and lateral forces.

**Keywords:** elevation of the outer rail thread, longitudinal force, lateral force

### Введение

При анализе движения состава в кривой, особого внимания заслуживают возникающие силы. Согласно теоретическим исследованиям и последующим практическим выделяются три основные силы взаимодействия: вертикальная, боковая, продольная.

- Вертикальная сила (Р) – влияет на элементы скреплений и балластный слой, напряжения в рельсовой колее, силу трения, определяя деградацию пути.

- Продольная сила (N) – оказывает влияние на продольно-поперечный изгиб рельса железнодорожного полотна, а также вызывает угон пути.
- Боковая сила (Yб) – действует на удержание элементов скреплений и подрельсовое основание в поперечном направлении, изменяет ширину колеи, суммарное воздействие от правого и левого рельса действует на всю рельсошпальную решетку и определяет деградацию пути в плане.

Анализ взаимодействия пути и подвижного состава при задаваемых вариантах, позволяет выполнить программный комплекс «Универсальный механизм», ориентированный на студентов и преподавателей инженерных специальностей. Возможность исследования динамики движения на прямых и кривых, реализовано в виде программного модуля «Моделирование взаимодействия железнодорожных экипажей и пути», с задаваемыми параметрами пути.

В качестве экспериментального, принят участок пути Свердловской железной дороги таблица 1 с существующими параметрами (радиус R, длина l, возвышение h) [4-6]

Таблица 1 – Характеристика участка моделирования

Параметр	Длина, м
Прямая вставка, м	91,0
Круговая кривая (левая): R=990 м, l <sub>1</sub> =110 м, l=285м, l <sub>2</sub> =100 м h=35 мм	495,0
Прямая вставка, м	372,0
Круговая кривая (левая): R=630 м, l <sub>1,2</sub> =80 м, l=281м, h=85 мм	444,0
Прямая вставка, м	94,0
Круговая кривая (правая): R=540 м, l <sub>1,2</sub> =100 м, l=79м, h=100 мм	279,0
Прямая вставка, м	421,0
Круговая кривая (правая): R=380м, l <sub>1</sub> =110 м, l=148м, l <sub>2</sub> =70 м h=70 мм	328,0
Прямая вставка, м	1076,0
Общая длина	3600

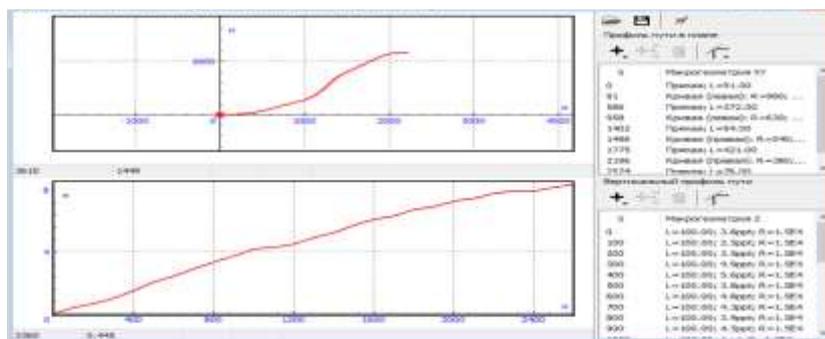


Рис. 1. Созданная макрогеометрия участка пути в ПК «Универсальный механизм» участка железнодорожного пути Лечебный – Компрессорный

Научный интерес для исследования представляют продольные и боковые силы, возникающие в контакте «колесо-рельс», в кривых участках при вариантах возвышения наружной рельсовой нити. Основная цель – выявить влияние возвышения на рассматриваемые силы. Для моделирования приняты четыре скоростных режима 40, 50, 60, 80 км/ч реализуемых на рассматриваемом участке пути. Задаваемые варианты возвышений

наружной рельсовой нити для каждой кривой от минимальных 40 мм до 140мм с шагом 20 мм.

В ходе проведения моделирования получен и обработан значительный массив данных. Для оптимизации обработки данных, выдвинута гипотеза о тесной связи между значениями сил, полученных при моделируемых скоростях движения, для каждого рассматриваемого радиуса, с возможностью описания этого фактора одной функциональной зависимостью и разработан алгоритм. Благодаря алгоритму, удалось значительно уменьшить количество полученных данных, что в дальнейшем повлияло на ход работы. После подтверждения гипотезы, построены зависимости изменения продольных и боковых от радиуса и скорости движения подвижного состава. При математическом описании полученной зависимости, принята регрессионная степенная зависимость с максимальным коэффициентом детерминации. Пример построенных графиков для продольных сил представлен на рисунке 2 для боковых сил на рисунке 3.

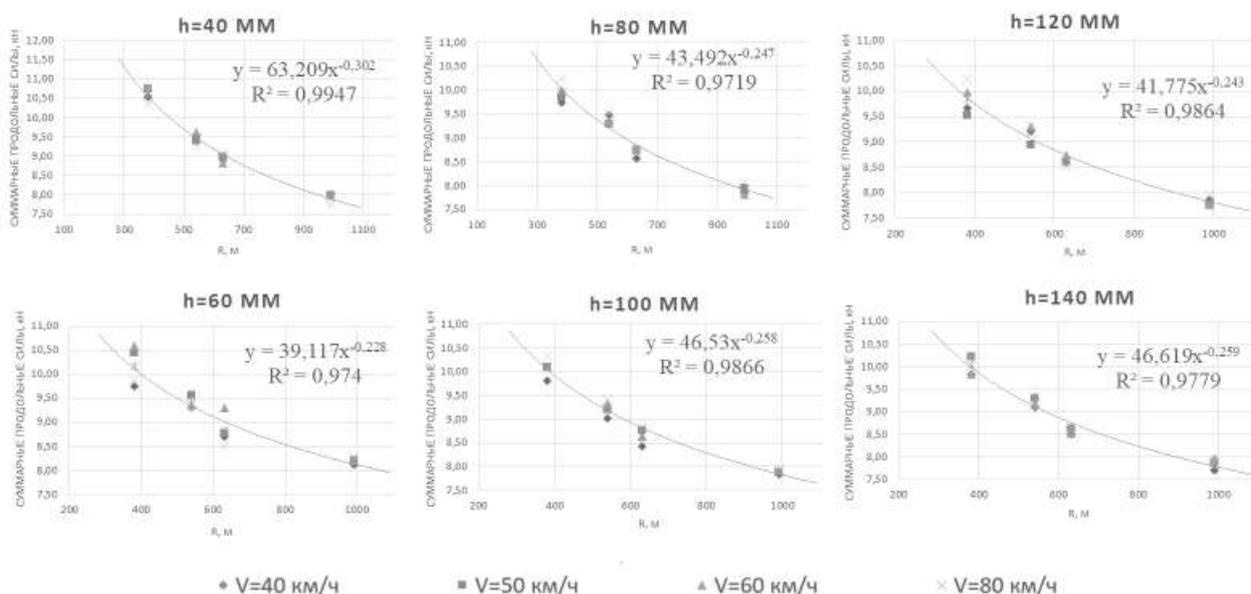


Рис. 2. Зависимость продольных сил от возвышения, радиуса и скорости

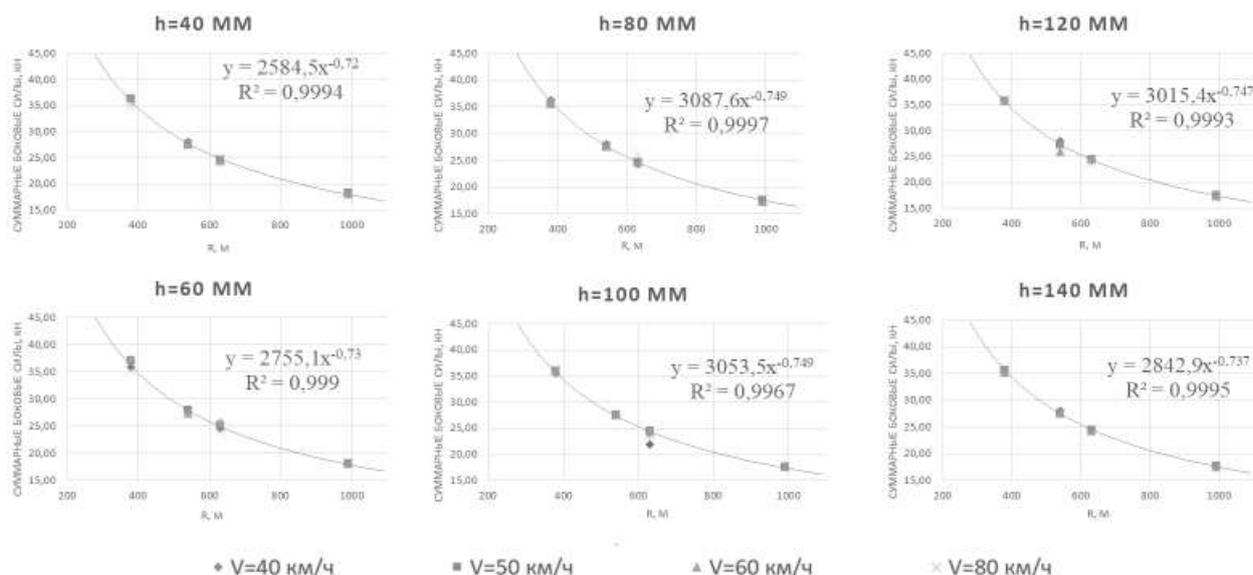
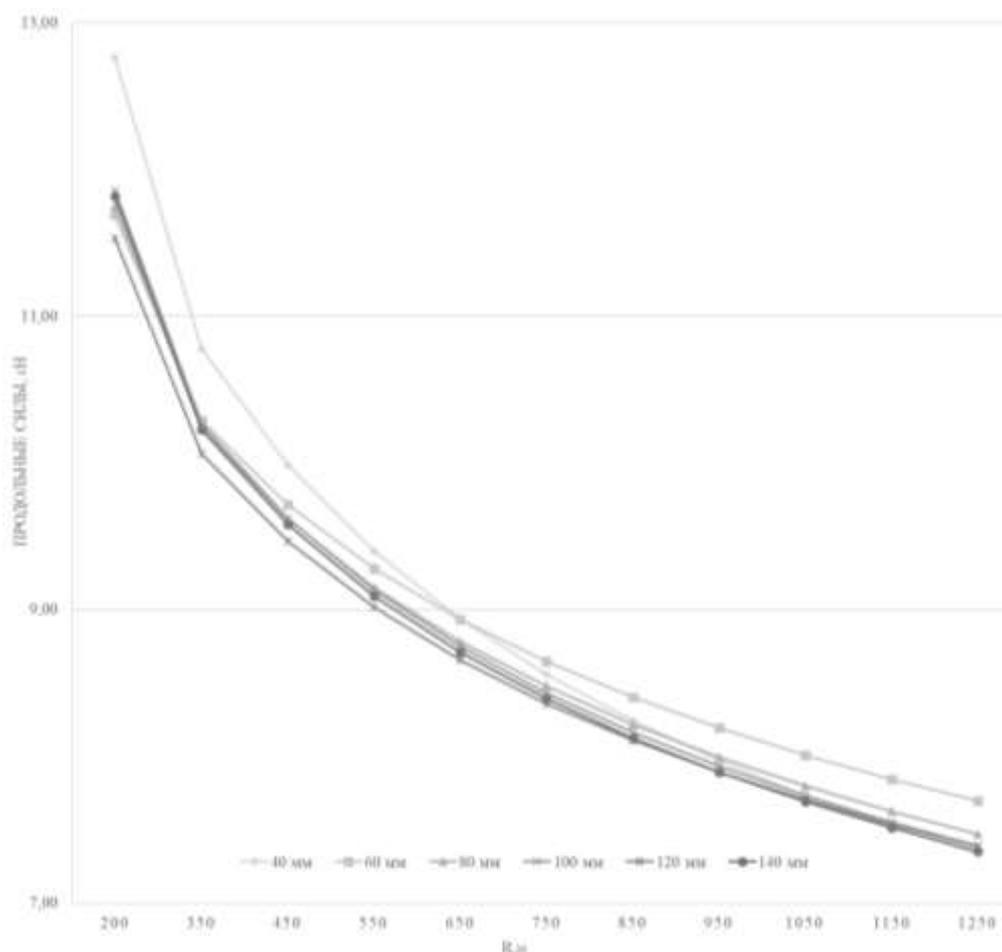


Рис. 3. Зависимость продольных сил от возвышения, радиуса и скорости

Далее по полученным формулам регрессионной зависимости вычислены значения продольных и боковых сил. По полученным данным построены графики для кривых с радиусами от 200 м до 1250 м (рисунок 4 и рисунок 5).



**Рис. 4.** Сводная гистограмма зависимости продольных возвышения и радиуса кривых

Анализируя графики зависимости изменения продольных сил от радиуса, при различных вариантах возвышения, можно констатировать следующие, что:

- максимальные значения продольные силы в кривых  $200 \text{ м} < R < 650 \text{ м}$  возникают, при возвышении  $h=40 \text{ мм}$  в сухом трибологическом состоянии поверхности рельсов. Разница значений между  $h=40 \text{ мм}$  и  $h=120 \text{ мм}$  в кривых малого радиуса составляет до 7%, а при увеличении радиуса железнодорожной кривой разница уменьшается.

- при возвышении 60 мм в кривых среднего радиуса возникают максимальные значения продольной. Минимальные значения продольные сил при сухом состоянии рельсовых нитей возникают при возвышении 140 мм.

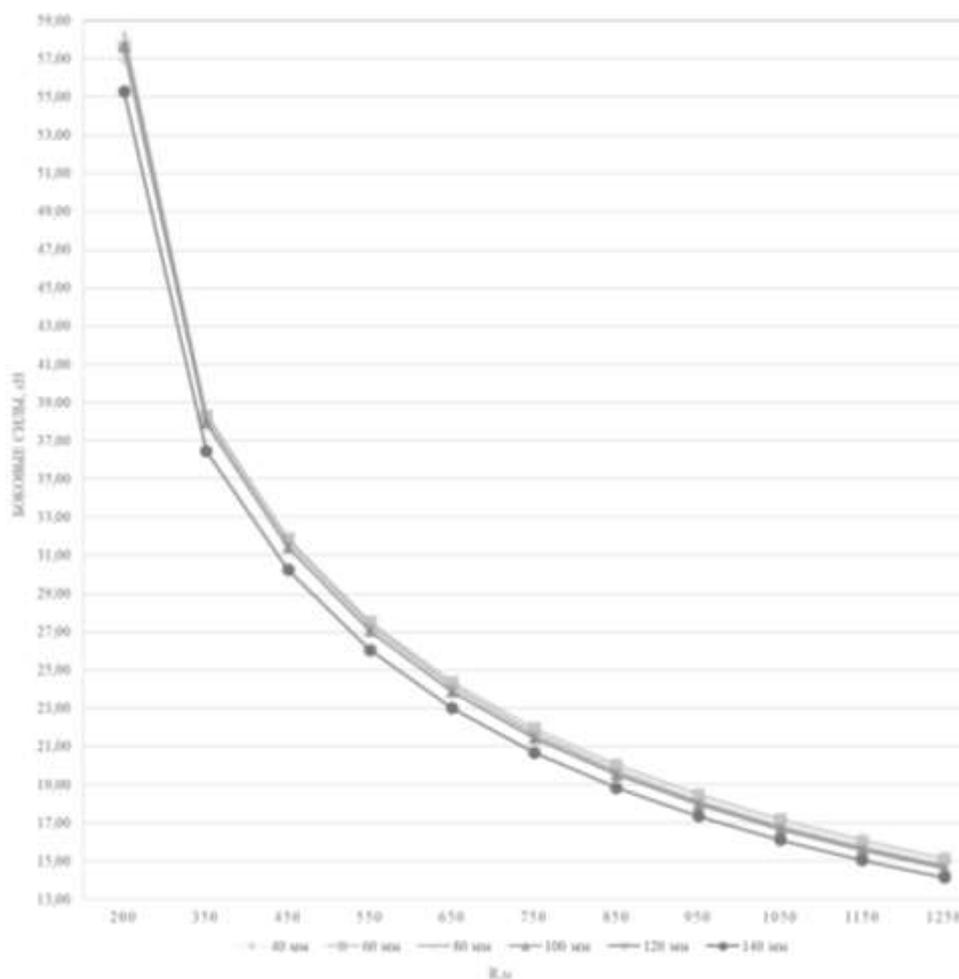


Рис. 5. Сводная гистограмма зависимости боковых возвышения и радиуса кривых

Выполнив анализ полученных при моделировании значений боковых сил, в сухом трибологическом состоянии и при различных вариантах возвышения наружного рельса, можно сказать, что:

- максимальные значения сил возникают в кривых малого радиуса при возвышении 80 мм
- минимальные значения сил возникают при  $h=140$  мм в кривых всех анализируемых радиусов.

Для наглядности, разница между минимальными и максимальными значениями продольных и боковых сил в кривых различных радиусов представлены в таблице 2

Таблица 2 – Анализ влияния возвышений наружной рельсовой нити на силы взаимодействия

R	Продольные силы от возвышения в кривых					Боковые силы от возвышения в кривых				
	max, кН	h, мм	min, кН	h, мм	$\Delta$	max, кН	h, мм	min, кН	h, мм	$\Delta$
350	10,78	40	10,06	120	6,7%	38,38	80	36,45	140	5,0%
450	9,99	40	9,47	120	5,2%	31,86	60	30,24	140	5,1%
550	9,40	40	9,02	120	4,0%	27,52	60	26,05	140	5,3%
650	8,94	40	8,66	120	3,1%	24,38	40	23,00	140	5,7%
750	8,65	60	8,36	120	3,4%	22,00	40	20,68	140	6,0%
850	8,40	60	8,11	120	3,5%	20,10	40	18,84	140	6,3%
950	8,19	60	7,89	140	3,7%	18,55	40	17,35	140	6,5%
1050	8,01	60	7,69	140	4,0%	17,26	40	16,10	140	6,7%
1150	7,84	60	7,51	140	4,2%	16,17	40	15,05	140	6,9%
1250	7,70	60	7,35	140	4,5%	15,23	40	14,14	140	7,2%

## **Заключение**

В ходе исследования минимальные значения продольных сил возникают в кривых малого и среднего радиуса при возвышении 120 мм и пологих кривых при возвышении 140мм. Минимальные значения боковых сил возникают в кривых всех радиусов при возвышении 140мм. Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

Возвышение 120-140 мм в кривых всех радиусов, вызывает уменьшение возникающих продольных и боковых сил в среднем: на 4.2% продольных сил; на 6.1% боковых сил.

При радиусах больше 1000 м, разница между min и max значениях боковых сил больше 6.7%. Это говорит о том, что чем больше радиус кривой, тем сильнее оправдано использование в кривых возвышения более 120 мм.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Богданов, В.М. Современные проблемы системы колесо–рельс / В.М. Богданов, С.М. Захаров // Железные дороги мира. - 2004. - № 1. - С. 57-62.

2. Редькин, В.И. Комплексная система снижения интенсивности бокового износа рельсов на Забайкальской ж.д.: автореф. .... дис. канд. техн. наук 05.22.06/Редькин Владимир Ильич - Чита.: 1998. - 29 с.

3. Захаров, С.М. Трибологические аспекты взаимодействия колеса и рельса / С.М. Захаров, И.А. Жаров, И.А. Комаровский // Сб. докладов Межд. конф. ассоциации тяжеловесного движения «Проблемы взаимодействия колеса и рельса» М.: 1999. - Т. 1. - С. 221-228.

4. Парахненко И.Л. Исследование сил взаимодействия в контакте «колесо-рельс» при изменении трибологического состояния поверхности рельсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / Парахненко Инна Леонидовна. - Екатеринбург, 2021. - 25 с.

5. Парахненко И. Л., Аккерман С. Г. Эффективность управления трением в контакте «колесо—рельс» // Транспорт Урала. 2014. № 2 (41). С. 58–61. ISSN 1815-9400.

6. Парахненко И. Л. Анализ сил взаимодействия в контакте «колесо—рельс» при различных трибологических вариантах // Транспорт Урала. 2019. № 2 (61). С. 54–57. DOI: 10.20291/1815-9400-2019-2-54-57. ISSN 1815-9400.

## **REFERENCES**

1. Bogdanov, V. M. Modern problems of the wheel–rail system / V. M. Bogdanov, S. M. Zakharov // Railways of the world. - 2004. - No. 1. - P. 57-62.

2. Redkin, V. I. Integrated system of reducing the intensity of lateral wear Rel-owls on the TRANS-Baikal railway.d.: abstract. .... dis. Cand. tekhn. 05.22.06 Sciences/Redkin Vladimir Ilyich - Chita.: 1998. - 29 s.

3. Zakharov, S. M. Tribological aspects of the interaction of the wheel and the rail / S. M. Zakharov, I. A. Zharov, I. A. Komarovsky // Collection of reports of the International Conference of the Association of Heavy-weight movement "Problems of the interaction of the wheel and the rail" Moscow: 1999. - Vol. 1. - pp. 221-228.

4. Parakhnenko I. L. Investigation of interaction forces in the "wheel-rail" contact when changing the tribological state of the rail surface: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences: 05.22.06 / Parakhnenko Inna Leonidovna. - Yekaterinburg, 2021. - 25 p.

5. Parakhnenko I. L., Akkerman S. G. Efficiency of friction control in the contact "wheel-rail" // Transport of the Urals. 2014. No. 2 (41). pp. 58-61. ISSN 1815-9400.

6. Parakhnenko I. L. Analysis of interaction forces in the "wheel-rail" contact with different tribological variants. 2019. NO. 2 (61). pp. 54-57. DOI: 10.20291/1815-9400-2019-2-54-57. ISSN 1815-9400.

## **Информация об авторах**

*Гребнева Дарья Александровна* – студент кафедры «Путь и путевое хозяйство», Уральский государственный университет путей и сообщения, г. Екатеринбург, e-mail: dashagrebnewa@yandex.ru

*Парахненко Инна Леонидовна* – старший преподаватель кафедры «Путь и путевое хозяйство», Уральский государственный университет путей и сообщения, г. Екатеринбург e-mail: Iparahnenko@usurt.ru

#### **Authors**

*Grebneva Daria Aleksandrovna* – student of the Department "Road and Track Management", Ural State University of Railways and Communications, Yekaterinburg, e-mail: dashagrebneva@yandex.ru

Parakhnenko Inna Leonidovna – Senior Lecturer of the Department of Road and Track Management", Ural State University of Railways and Communications, Yekaterinburg e-mail: Iparahnenko@usurt.ru

#### **Для цитирования**

Гребнева Д. А. Влияние возвышения наружной рельсовой нити на силы взаимодействия в контакте колесо-рельс в кривых участках железнодорожного пути [Электронный ресурс] / Д. А. Гребнева, И. Л. Парахненко // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2021. — №1(11). — Режим доступа: <https://mnv.irgups.ru/toma/111-2021>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 19.05.2021)

#### **For citation**

Grebneva D.A. Influence of the elevation of the outer rail thread on the interaction forces in the wheel-rail contact in curves railway track sections [Electronic resource] / D.A. Grebneva, I.L. Parahnenko // Young science of Siberia: electron. scientific. zhurn. - 2021. - No. 1(11). - Access mode: <https://mnv.irgups.ru/toma/111-2021>, free. - Title from the screen. - Yaz. rus, eng. (date of appeal: 05/19/2021)