

Исследование причин появления и развития контроленепригодности рельсов на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка

Д.А. Ковенькин✉

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

✉kovenkin_da@irgups.ru

Резюме

В процессе развития контактно-усталостных повреждений на рабочей поверхности головки рельса возникают трещины и выкрашивания, которые делают рельс контроленепригодным, так как мешают обнаружению внутренних дефектов при ультразвуковом контроле рельсов дефектоскопом. Только за 2023 г. на Восточно-Сибирской железной дороге выявлено 2 169 дефектных рельсов по коду 19. За тот же период 1 061 рельс выявлен по Слюдянской дистанции пути, что составляет 49 % от общего количества рельсов. Кроме того, к декабрю 2023 г. число рельсов с таким дефектом выросло по сравнению с январем в 1,6 раз по Восточно-Сибирской железной дороге и в 3,2 раза по участку пути от ст. Большой Луг до ст. Слюдянка. Статья посвящена исследованию причин появления и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта – 19). Данная работа направлена на раскрытие проблемных зон при эксплуатации пути в кривых малых радиусов на горно-перевальных участках. Выполнен расчет контактного давления от подвижного состава на путь с учетом фактических скоростей движения. Расчет проводился в программном комплексе «Универсальный механизм». Анализ лент вагона путеизмерителя, скоростемерных лент в сочетании с расчетом контактного давления показывает значительный перегруз внутренней нити даже при проектных параметрах кривых, не говоря уже о фактических. В связи с этим можно с уверенностью сказать, что перегруз внутренней рельсовой нити, вызванный несоответствием возвышения наружного рельса проектным значениям, а также отклонением от нормы фактических скоростей движения поездов по участку, является основной причиной появления и развития контроленепригодности рельсов.

Ключевые слова

износ рельсов, проблемы контроля, возвышение наружного рельса, скорость, контактное давление

Для цитирования

Ковенькин Д.А. Исследование причин появления и развития контроленепригодности рельсов на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка / Д.А. Ковенькин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 113–125. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).113-125.

Информация о статье

поступила в редакцию: 29.02.2024 г.; поступила после рецензирования: 12.03.2024 г.; принята к публикации: 14.03.2024 г.

Research into causes of the appearance and development of rail inspection unsuitability in the mountainous area from Bol'shoi Lug station to Slyudyanka station

D.A. Koven'kin✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉kovenkin_da@irgups.ru

Abstract

With the development of contact fatigue damage, cracks and fractures appear on the working surface of the rail head, which make the rail unsuitable for inspection, since they prevent the detection of internal defects during ultrasonic inspection of rails with a flaw detector. In 2023 alone, in East Siberian Railway 2 169 defective rails were identified according to code 19. During the same period, 1 061 rails were identified along the Slyudyanskaya track distance, which is 49% of the total. In addition, by December 2023, the number of rails with such a defect increased 1.6 times as compared to January for the East Siberian Railway and 3.2 times for the section of track from Bolshoi Lug station to Slyudyanka station. The article is devoted to the study of the reasons for the appearance and development of rail defects (defect code – 19). This work is aimed at uncovering problem areas during the operation of the track in curves of small radii on mountain pass sections. The calculation of the contact pressure from the rolling stock on the track has been performed, taking into account the actual speeds of movement. The calculation was carried out in the «Universal Mechanism» software package. The analysis of track measuring car belts and speed gauge belts in combination with the calculation of contact pressure shows a significant overload of the inner rail even with the design parameters of the curves, not to mention the actual ones. In this regard, it is safe to say that some of the reasons for the appearance and development of rail defects are the overload of the inner rail thread caused by the discrepancy between the elevation of the outer rail

and the design values, as well as the discrepancy between the actual train speeds along the section.

Keywords

rail wear, control problems, elevation of the outer rail, speed, contact pressure

For citation

Koven'kin D.A. Issledovanie prichin poyavleniya i razvitiya kontrolenepriгодnosti relсов na gorno-perevalnom uchastke Bol'shoi Lug – Slyudyanka [Research into causes of the appearance and development of rail inspection unsuitability in the mountainous area from Bol'shoi Lug station to Slyudyanka station]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 113–125. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).113-125.

Article Info

Received: February 29, 2024; Revised: March 12, 2024; Accepted: March 14, 2024.

Введение

В современных условиях эксплуатации железных дорог Российской Федерации все более высокую актуальность имеет внедрение ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих продление срока службы элементов инфраструктуры.

Одной из наиболее сложных задач ресурсосбережения является продление срока службы рельсов, непосредственно воспринимающих весь спектр нагрузок от колес подвижного состава.

В результате процессов трения, вызываемых взаимодействием колесной пары с рельсовой колеей, происходит изнашивание их поверхностей. Это приводит к снижению эффективности эксплуатации и безопасности движения, ухудшению тяговых качеств, а также к значительным финансовым расходам. Именно поэтому так важно вовремя выявить рельсовые дефекты и предпринять меры для их устранения.

Влияние возвышения на общий износ рельсов в кривых участках пути рассматривали многие ученые [1–10]. Большинство из них считают, что избыточное возвышение приводит к интенсивному вертикальному износу рельсов в кривых. В том числе происходит перегруз внутренней рельсовой нити в кривых, что приводит к образованию контроленепригодных рельсов.

Контроленепригодный рельс (код 19) – это рельс, на поверхности которого при дефектоскопировании не обеспечивается акустический контакт из-за наличия выкрашиваний или трещин (рис. 1).

Если при контроле рельсов не обеспечивается акустический контакт из-за наличия выкрашиваний или трещин, и, на участке пути протяженностью 12,5 м имеется три места и более с пропаданием донного сигнала от 20,0 до 70,0 мм и суммарной протяженностью более

140 мм, то такие рельсы признаются контроленепригодными.

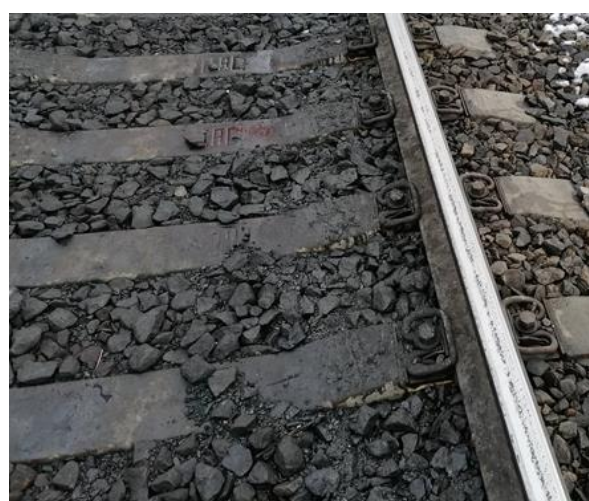


Рис. 1. Контроленепригодный рельс (код 19)
Fig. 1. Defective rail (code 19)

При наличии на головке рельса поверхностных дефектов, делающих рельс контроленепригодным для дефектоскопных средств сплошного контроля, рельс считают дефектным. В течение пяти дней после выявления дефекта принимается решение по его дальнейшей эксплуатации и определяются меры (наплавка, шлифовка или замена) по устранению причин контроленепригодности. В течение 14 дней с момента выявления дефекта разработанные меры должны быть реализованы. В случае превышения срока устранения причин контроленепригодности скорость движения поездов ограничивается до 60 км/ч.

Если при сплошном контроле рельсов срабатывание индикации ультразвуковых каналов дефектоскопа, контролирующей головку рельса, наблюдается при минимально допустимой чувствительности (определенной документацией на контроль), то такой рельс считают

«шумящим»), относят к дефектным и заменяют в первоочередном порядке.

Доля изъятия рельсов на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) по дефекту 19 из-за перегруза внутренней нити уже составляет более 20% от общего количества дефектных рельсов.

Исходя из изложенного основная цель статьи заключается в исследовании причин появления и развития контроленепригодности рельсов.

Для достижения этой цели в работе решаются следующие задачи:

- выбираются участки исследования;
- проводится расчет контактного давления от колеса на рельс на исследуемых участках;
- предлагаются решения для повышения срока службы рельсов.

Состояние вопроса на Восточно-Сибирской железной дороге

Для подтверждения актуальности проблемы были собраны статистические данные по ВСЖД о количестве зафиксированных случаев дефектов рельсов по коду 19. Обзор проведен за 2023 г. (рис. 2).

По представленным данным (см. рис. 2) можно сказать, что только за 2023 г. по коду 19

выявлено 2 169 дефектных рельсов. За тот же период 1 061 дефектный рельс выявлен по Слюдянской дистанции пути, что составляет 49 % от общего их количества. Кроме того, к декабрю 2023 г. число рельсов с таким дефектом выросло по сравнению с январем в 1,6 раз по ВСЖД и в 3,2 раза по ПЧ-9. Это очень высокий рост, несмотря на некоторое снижение выявленных дефектов в период с мая по октябрь 2023 г. По нашим данным, снижение дефектности рельсов в этот период вызвано проведением работ по профильной шлифовке рельсов и смене рельсовых плетей.

На основании изложенного можно утверждать, что проблема образования и интенсивного роста дефекта по коду 19 стоит достаточно остро. Все это приводит к высокому расходу материалов верхнего строения пути, неблагоприятному воздействию на путь и подвижной состав, увеличению затрат на текущее содержание устройств инфраструктуры и, как следствие, к снижению пропускной способности.

Характеристика экспериментальных участков

Для исследования причин появления и развития контроленепригодности рельсов (код

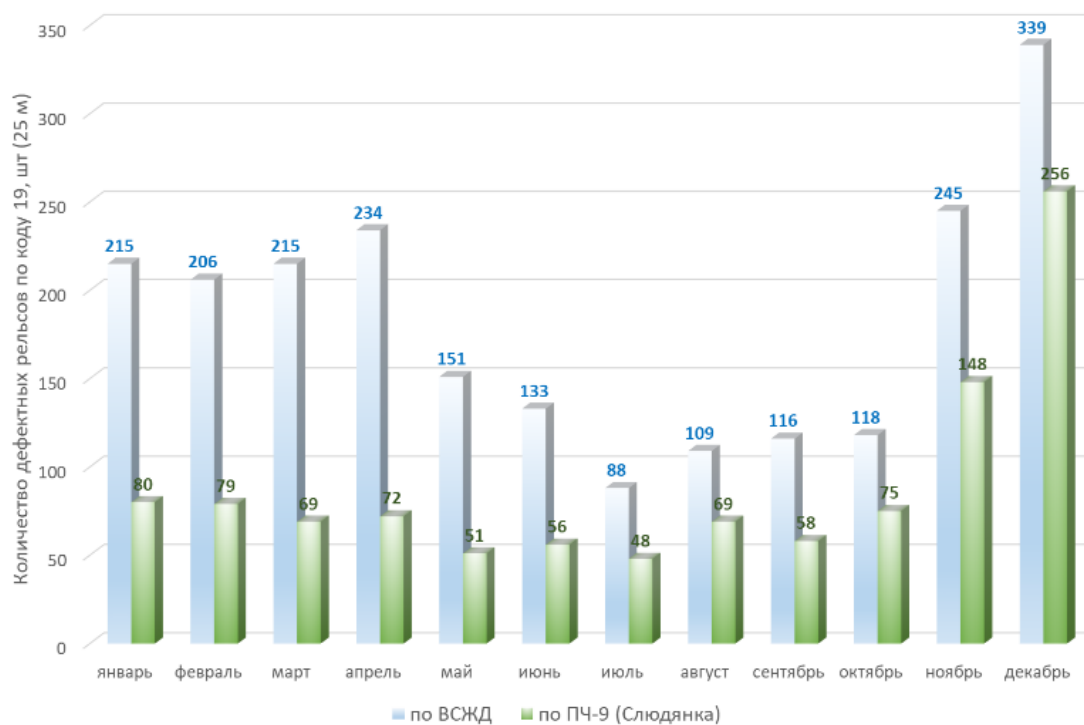


Рис. 2. Количество дефектных рельсов по коду 19 на Восточно-Сибирской железной дороге за 2023 г.

Fig. 2. The number of defective rails according to code 19 on East Siberian Railway for 2023

дефекта – 19) на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка, были выбраны семь кривых, характеристики которых представлены в таблице 1.

Выбранные участки расположены в кривых, радиусы которых находятся в пределах от 293 до 330 м. Именно в кривых такого радиуса в наибольшей степени проявляется поверх-

ностное выкрашивание головки рельса. Данные видеоконтроля одной из таких кривых представлены на рис. 3.

Грузонапряженность по пути составляет 158,4 млн т брутто на км в год. Установленная скорость для горно-перевального участка, пассажирских и грузовых поездов – 70/60 км/ч.

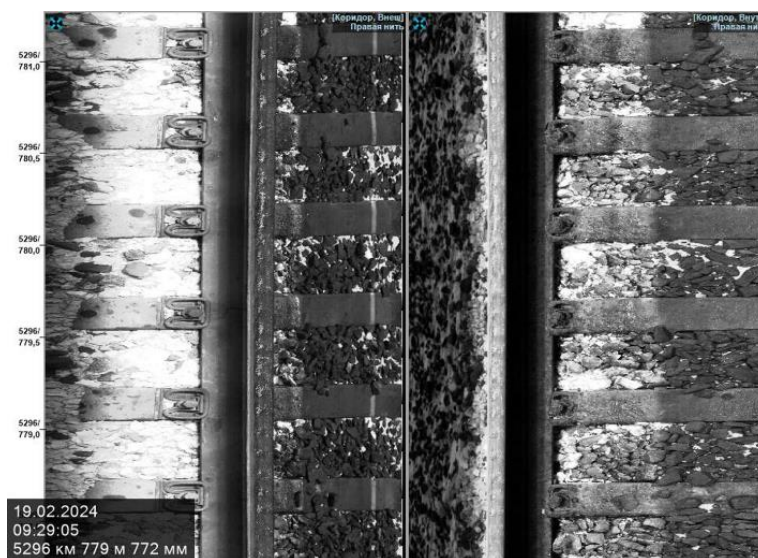


Рис. 3. Результаты видеоконтроля

Fig. 3. Video monitoring results

Таблица 1. Характеристика экспериментальных участков (по проектной документации)

Table 1. Characteristics of experimental sites (according to project documentation)

№	Км начала Km of start	Км конца Km of the end	Длина, м Length, m	Радиус, м Radius, m	Возвышение, мм Elevation, mm	Уклон, ‰ Slope, ‰	Ширина колеи, мм Track width, mm	Закалка рельса Hardening of the rail	Тип скрепления Mounting type
1	5 234 + 120	5 234 + 646	526	297	110	Подъем 14,2–17,9	1 535	Правая (внутренняя) Right (inner) ДТ350 Левая (наружная) Left (outer) ДТ350	ЖБР-65ПШМ
2	5 234 + 686	5 235 + 300	614	301	105	Подъем 14,2–18,3	1 530	Правая (наружная) Right (outer) ДТ370ИК Левая (внутренняя) Left (inner) ДТ370ИК	ЖБР-65ПШМ

3	5 246 + 217	5 246 + 477	260	330	100	Подъем 3,7	1 530	Правая (наруж- ная) Right (outer) ДТ370ИК Левая (внутрен- няя) Left (inner) ДТ370ИК	ЖБР-65ПШМ
4	5 246 + 557	5 247 + 23	466	304	105	Площадка – спуск 1,9	1 530	Правая (наруж- ная) Right (outer) ДТ370ИК Левая (внутрен- няя) Left (inner) ДТ350	ЖБР-65ПШМ
5	5 247 + 436	5 248 + 85	649	293	110	Площадка	1 535	Правая (внут- ренняя) Right (inner) ДТ350 Левая (наруж- ная) ДТ350 Left (outer)	ЖБР-65ПШМ
6	5 258 + 949	5 259 + 228	279	303	105	Спуск 0,9 – подъем 2,4	1 530	Правая (наруж- ная) Right (outer) ДТ370ИК Левая (внутрен- няя) Left (inner) ДТ370ИК	ЖБР-65ПШМ
7	5 259 + 254	5 259 + 812	558	300	105	Площадка 0,0 – спуск 2,5	1 535	Правая (внут- ренняя) Right (inner) ДТ370ИК Левая (наруж- ная) Left (outer) ДТ350	ЖБР-65ПШМ

Анализ соответствия проектных параметров кривых с фактическими

Рассматривая карточки кривых исследуемых участков, можно увидеть некоторое несоответствие проектных и фактических параметров, отмечаемое в разности длин переходных и круговых кривых, радиусов, а также возвышений наружного рельса. Особо стоит обратить внимание на завышенное фактическое возвышение по сравнению с проектным на всех исследуемых участках. На участке № 1 среднее возвышение наружного рельса, судя по карточке, равно 119 мм (на 9 мм больше, чем по проекту). На участке № 2 эта разница составляет 14 мм – 105 мм по проекту и 119 мм по карточке кривой.

Ниже представлена карточка кривой по исследуемому участку № 1 (5 234 + 120 км – 5 234 + 646 км) (рис. 4).

Из представленной карточки отметим несоответствия проектных и фактических данных:

- по проекту радиус кривой – 297 м, фактически – меняется с 300 до 400 м, в среднем равен 310 м;

- возвышение наружного рельса по проекту должно быть 110 мм, фактически оно меняется от 93 до 129 мм, а в среднем равно 119 мм.

Анализ лент по результатам прохода вагона путеизмерителя с февраля по сентябрь 2023 г. на исследуемых участках показывает

постоянное изменение параметров кривых и нестабильность рельсовой колеи. Так, в феврале 2023 г. фактическое возвышение наружного рельса на участке № 1 имело величину 132 мм (по проекту 110 мм), ширина рельсовой колеи в некоторых местах доходила до 1 540 мм, радиус кривой соответствует проекту 297 м (см. рис. 4). В марте данная кривая имела следующие параметры: возвышение 128 мм, ширина колеи 1 542 мм, радиус 300 м; в мае – 121 мм, 1 538 мм и 301 м; в сентябре – 121 мм, 1 542 мм и 299 м (рис. 5).

Изменение возвышения наружного рельса связано с интенсивным ростом вертикального износа внутренней нити в кривых (в этом случае возвышение увеличивается), а также выполняемыми работами по текущему содержанию пути (в этом случае возвышение уменьшается). Основными работами по теку-

щему содержанию пути, влияющими на изменение возвышения, являются выправка пути в профиле и смена рельсов.

Анализ скоростемерных лент

Для определения фактической скорости движения подвижного состава проводился анализ скоростемерных лент на исследуемых участках. Всего было рассмотрено около 50 лент по каждому участку (т.е. 192 ленты) в период отсутствия ограничений по скорости. На рис. 6 представлен фрагмент одной из скоростемерных лент. Все данные сведены в табл. 2.

Расшифровка скоростемерных лент показала, что на особо грузонапряженных участках в условиях горных перевалов грузовые поезда почти всегда следуют со скоростью меньшей расчетной или установленной. Так, на исследуемом участке 5 234 км фактическая скорость

Кривая: правая 16	Характеристики кривой									1-я переходные 2-я					
	Начало			Конец			дл.	разн.	уг	Отвод		Отвод		дл.	Отвод
км	м	разн.	км	м	разн.	мак				ср.	мак	ср.	дл.		мак
план	5234	135	1	5234	662	15	527	16	81,82	1,47	1,07	82	1,32	1,04	92
уровень	5234	136	1	5234	647	15	511	16	0	1,53	1,05	78	1,41	1,07	85
пр. сл. 40 36	Характеристика круговой кривой									Анп		Ψ	Скор.	пасс.	гру
	Начало			Конец			дл.	Рад./Уров./Шаб.			0,49\0,53	0,08	V _{нз} 70	60	
	км	м	разн.	км	м	разн.		min	мак	ср.					0,16\0,24
план	5234	217	3	5234	570	12	353	300	400	310	V _{нз} 100	90			
уровень	5234	214	3	5234	558	12	344	93	129	119			V _{нз} 95	90	
шаблон								1519	1542	1536	V _{собр} -	-			
Боковой износ:	> 6мм: 415м			> 10мм: 49м			> 15мм: 0м			11			7,7	V _{дп} 75	75

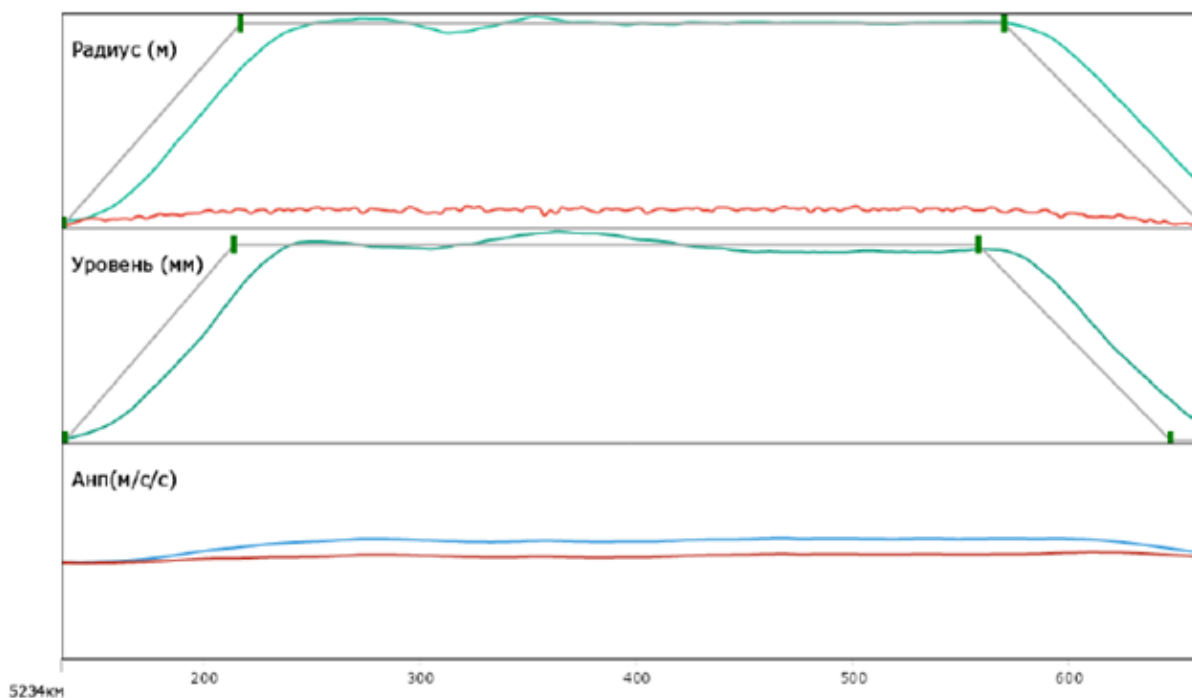


Рис. 4. Карточка кривой (исследуемый участок № 1)
Fig. 4. Curve card (experimental section No 1)

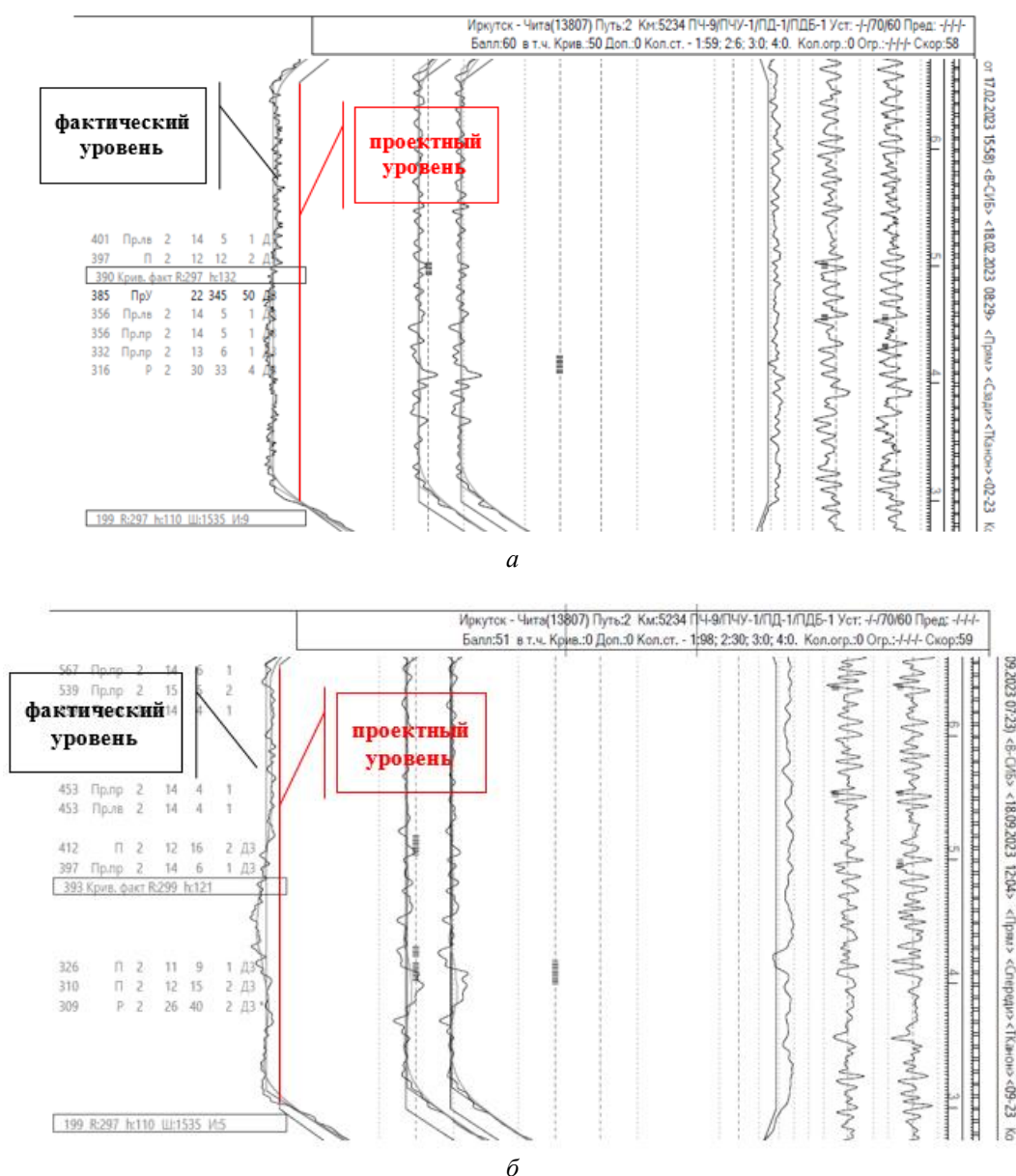


Рис. 5. Фрагмент ленты вагона путеизмерителя:
а – февраль 2023 г.; б – сентябрь 2023 г.

Fig. 5. A fragment of the track measuring wagon tape:
а – February 2023; б – September 2023

ниже установленной на 26,72 %, на 5 246 и 5 247 км разница составляет 17,2 %, на 5 259 км – 26,41 %.

Расчет контактного давления, передающегося от колеса на головку рельса

Расчет проводился с применением программного комплекса «Универсальный механизм». Определялось контактное давление, передающееся от подвижного состава на головку рельса.

Повышение осевых нагрузок неизбежно вызывает рост механических напряжений в зоне контакта колеса и рельса. От количественных параметров взаимодействия рельса и колеса во многом зависят безопасность движения и основные технико-экономические показатели хозяйств пути и подвижного состава, в том числе интенсивность износа рельсов, развитие контактно-усталостных дефектов, гарантированный пропущенный тоннаж и т.д. [11–18].

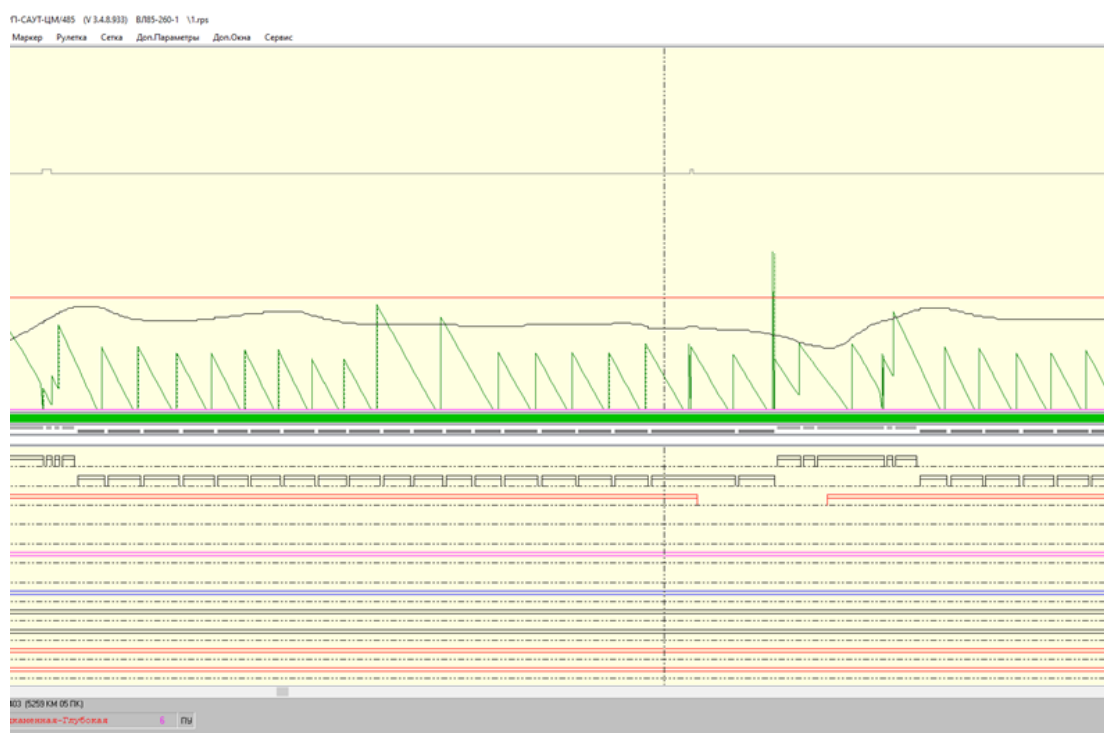


Рис. 6. Фрагмент скоростемерной ленты
Fig. 6. A fragment of a speed-measuring tape

Таблица 2. Показатели фактической скорости движения

Table 2. Indicators of the actual speed of movement

Характеристика подвижного состава Characteristics of the rolling stock				Фактическая скорость движения, км/ч Actual driving speed, km/h		
Локомотив The locomotive	Масса, т Weight, t	Количество вагонов Number of wagons	Осевая нагрузка, т/ось Axial load, t/axle	5 234 км	5 246–5 247 км	5 259 км
ВЛ85-3ЭС5К	6 254	70	22,34	41	53	44
3ЭС5К-3ЭС5К	7 128	74	24,08	37	44	37
...
Средняя масса состава, т Average weight of the train, t	5 954,04	Средняя осевая нагрузка, тс/ось Average axial load, tc/axle	22,18	43,97	49,68	44,15

Колесо соприкасается с головкой рельса по некоторой площадке. Величины и закон распределения напряжений по площадке контакта зависят от динамической нагрузки колеса, соотношения нормальной и касательных составляющих вектора колесной нагрузки, формы контактирующих поверхностей и др.

Впервые решение основных задач о контактных напряжениях и деформациях было получено на основе методов теории упругости в 1881–1882 гг. Г. Герцем.

Исходя из решения нормальной задачи Герца максимальное контактное напряжение P_{\max} может быть рассчитано по формуле (1):

$$P_{\max} = \sqrt[3]{\frac{3FE^2}{2\pi^3 r_e^2 (1-\varepsilon^2)^2}}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости; F – нормальная сила нагружения колеса и рельса; r_e – эквивалентный радиус, зависящий от характерных радиусов взаимодействия колеса и рельса в месте контакта; ε – коэффициент Пуассона.

Следует иметь в виду, что контактная теория Герца справедлива при следующих допущениях:

- контактирующие поверхности однородны и изотропны;
- силы трения в зоне контакта не действуют;
- размер контактной площадки мал по сравнению с размерами контактирующих тел и характерными радиусами кривизны недеформированных поверхностей;
- для контактной задачи использовано решение линейного упругого полупространства;
- контактирующие поверхности гладкие.

В расчете приняты следующие исходные данные:

- максимальная осевая нагрузка – 25 тс/ось;
- установленная скорость движения грузовых поездов – 60 км/ч;
- фактическая скорость движения грузовых поездов на 5 234 км – 44 км/ч, на 5 246–5 247 км – 50 км/ч, на 5 259 км – 44 км/ч.

– рельсы Р65, шпалы железобетонные, эпюра шпал 2 000 шт/км, тип креплений – ЖБР-65ПШМ, балласт – щебень из естественного камня.

– план и профиль пути моделировался на основании данных из карточек кривых и лент вагона путеизмерителя для участков по проектным и фактическим параметрам кривых;

– неровности геометрии рельсовой колеи и поверхности катания колеса не учитывались;

– боковой и вертикальный износ рельсов не учитывался.

Результаты расчета изменения контактного давления во времени представлены в виде графиков на рис. 7. Данные графиков были статистически обработаны, результаты сведены в табл. 3–5. Учитывалось движение экипажа только по круговой кривой. В таблицах также представлены все значения, полученные по результатам исследований. Проект соответствует проектным параметрам кривых, факт – фактическим. Результаты обобщенных данных также отображены на графиках (рис. 8).

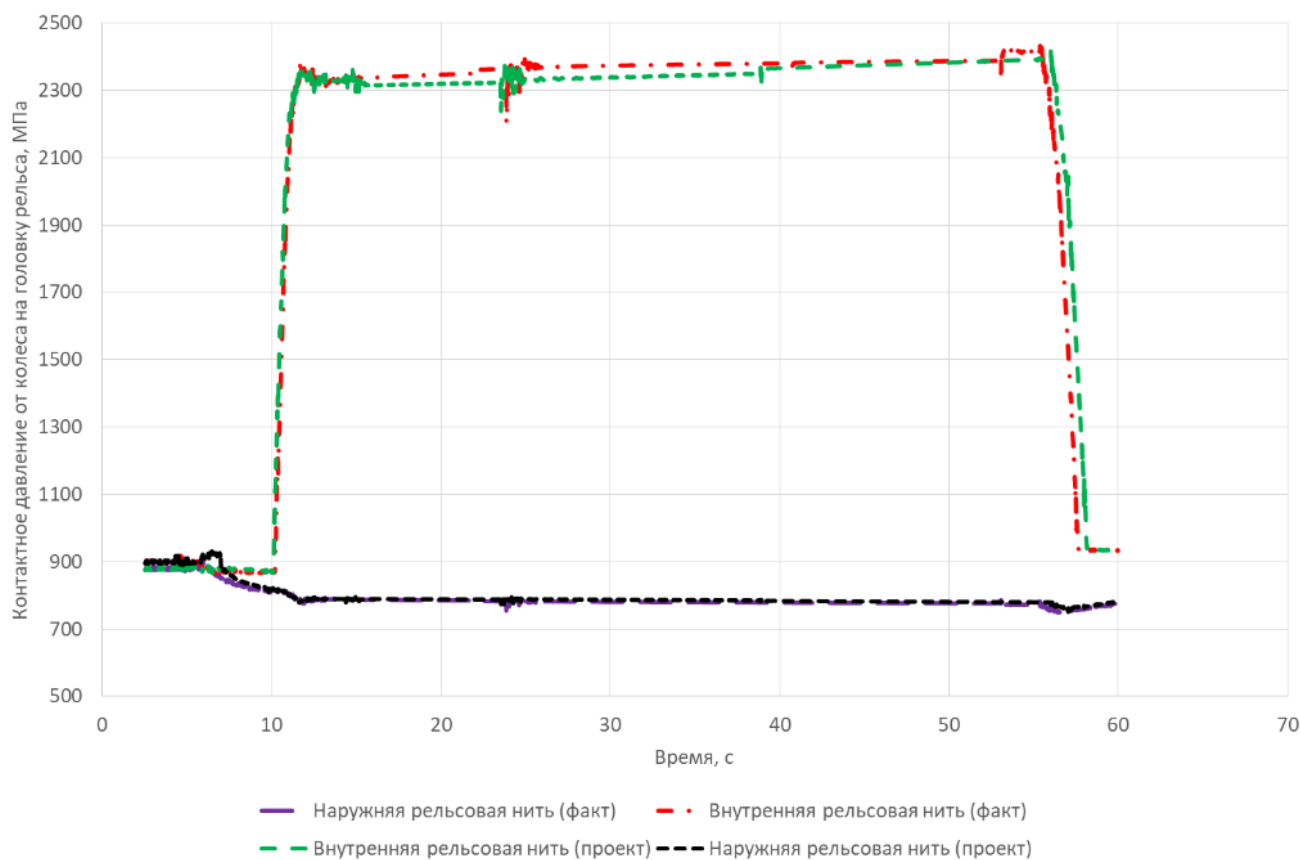


Рис. 7. График изменения контактного давления на рельсы

Fig. 7. Graph of changes in contact pressure on rails

Таблица 3. Статистические данные значений контактного давления от подвижного состава на рельсы, скорость движения 60 км/ч**Table 3.** Statistical data of contact pressure values from rolling stock to rails, travel speed 60 km/h

Статистические данные Statistical data	Контактное давление, МПа Contact pressure, MPa			
	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Наружная рельсовая нить (факт) Outer rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (проект) Internal rail (project)	Наружная рельсовая нить (проект) Outer rail (project)
Среднее Average	2 368,13	781,80	2 344,71	786,74
Стандартное отклонение Standard deviation	18,69	3,67	21,47	2,68
Экцесс Excess	1,77	0,53	-0,73	-0,39
Минимум Minimum	2 208,06	746,01	2 238,72	771,29
Максимум Maximum	2 393,68	793,64	2 382,94	797,73

Таблица 4. Статистические данные значений контактного давления от подвижного состава на рельсы, скорость движения 44 км/ч**Table 4.** Statistical data of contact pressure values from rolling stock to rails, driving speed 44 km/h

Статистические данные Statistical data	Контактное давление, МПа Contact pressure, MPa			
	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)
Среднее Average	2 431,51	773,27	2 418,04	775,23
Стандартное отклонение Standard deviation	10,70	1,58	6,80	3,03
Экцесс Excess	2,65	4,58	21,14	-1,09
Минимум Minimum	2 342,49	758,25	2 334,17	759,59
Максимум Maximum	2 454,44	784,44	2 457,54	785,28

Таблица 5. Обобщенные данные средних значений контактного давления на рельсы**Table 5.** Generalized data on average values of contact pressure on rails

Скорость движения, км/ч Driving speed, km/h	Средние значения контактного давления на рельсы, МПа Average values of contact pressure on rails, MPa				Непогашенное ускорение, м/с ² Outstanding acceleration, m/s ²	
	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Факт Fact	Проект Project
43,97	2 431,51	773,27	2 418,04	775,23	-0,25	0,17
60,00	2 368,13	781,80	2 344,71	786,74	0,16	0,26

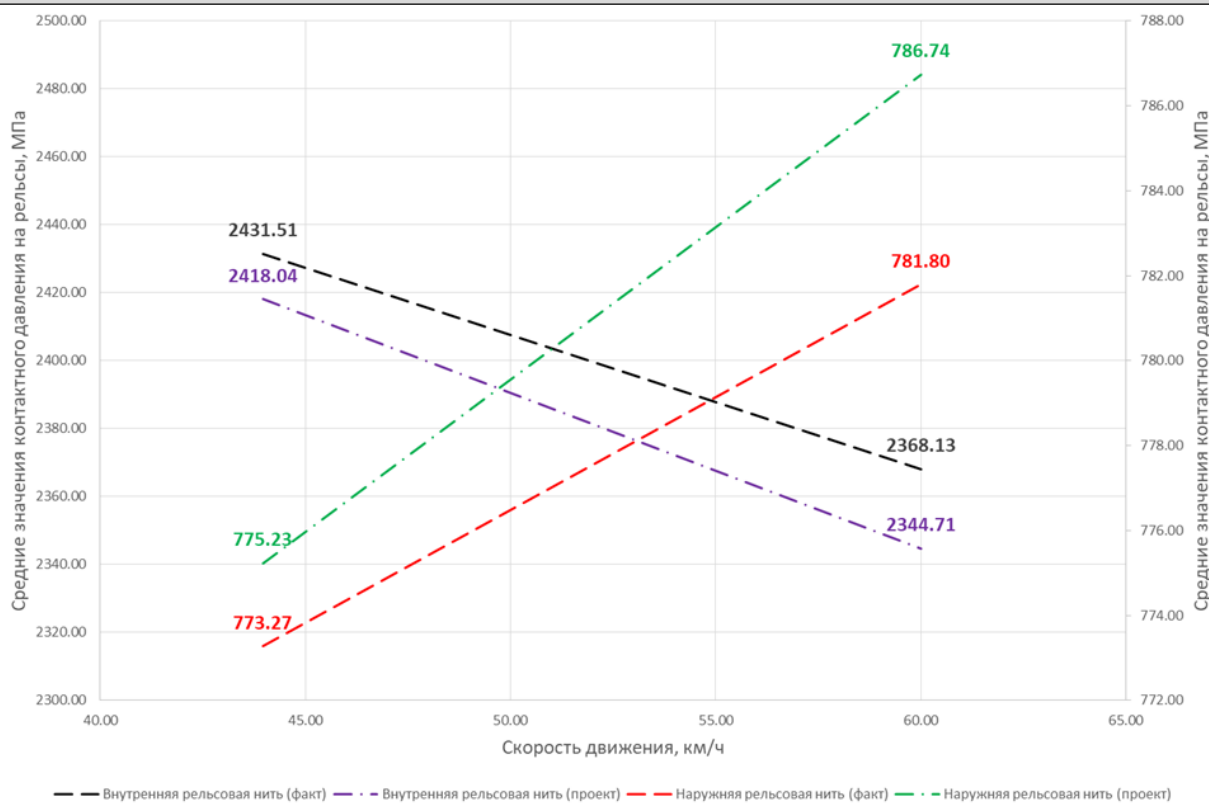


Рис. 8. Средние значения контактного давления на рельсы

Fig. 8. Average values of contact pressure on rails

При проведении статистической обработки результатов расчета выявлено следующее:

- наибольшие значения контактного давления по внутренней нити (2 434,51 МПа) получены для случая, при котором параметры кривой на участке 5 234 км ПК 2–7 отличаются от проектных данных, в сочетании со скоростью движения подвижного состава ниже установленной на 16 км/ч (26,7 %);

- превышение давления по поверхности катания по внутренней нити (2 434,51 МПа) выше чем по наружной нити (773,27 МПа) в 3,14 раза, что говорит о существенной неравномерности нагрузки на рельсы и перегрузу внутренней нити;

- расчет непогашенного ускорения ($-0,25 \text{ м/с}^2$) для этой кривой с фактическими параметрами, отличающимися от проектных данных при скорости движения ниже установленной, подтверждает перегруз внутренней нити.

Обращаем внимание, что расчет проводился при фактическом возвышении рельса, согласно данным карточки кривой, равном 119 мм и при проектном возвышении, равном 110 мм. Отличие возвышения наружного рельса в 9 мм с учетом сниженной скорости относительно

установленной на 16 км/ч привело к увеличению контактного давления по внутренней рельсовой нити на 3,6 %. Можно спрогнозировать, что при возвышении в 132 мм (завышение от проекта на 22 мм) этот параметр возрастет на 8,3 %. Безусловно, это неблагоприятно скажется на работе внутренней нити кривой.

Заключение

Исходя из проведенных расчетов и исследований можно сказать, что основная цель данной работы в целом достигнута.

Анализ лент вагона путеизмерителя, скоростемерных лент в сочетании с расчетом контактного давления показывает значительное воздействие подвижного состава на внутреннюю рельсовую нить даже при проектных параметрах кривых, не говоря уже о фактических.

Основной причиной появления и развития контроленепригодности рельсов на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка является перегруз внутренней рельсовой нити, вызванный несоответствием возвышения наружного рельса проектным значениям и отклонением от нормы фактических скоростей движения поездов по участку.

Список литературы

1. Альбрехт В.Г., Шиладжян А.А. Работа рельсов в крутых кривых // Повышение надежности работы верхнего строения пути в современных условиях эксплуатации : сб. науч. тр. М., 2000. С. 42–54.
2. Величко Д.В. Влияние типа рельсовых скреплений на размер ширины колеи, получаемой при сборке рельсошпальной решетки // Актуальные проблемы Транссиба на современном этапе : материалы науч.-практ. конф. Новосибирск, 2001. С. 245.
3. Величко Д.В. Влияние конструкций промежуточных скреплений на ширину рельсовой колеи // Железные и автомобильные дороги в условиях Сибири : сб. науч. тр. Новосибирск, 2003. С. 108–116.
4. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес. М. : ПТКБ ЦП МПС, 1997. 207 с.
5. Ершков О.П. Построение графиков удельных характеристик и графиков-паспортов вписывания железнодорожных экипажей в кривые (теоретические основы) // Труды ВНИИЖТ. 1963. Вып. 268. С. 64–125.
6. Ершков О.П. Применение графиков-паспортов для оценки воздействия локомотивов на путь в кривых. М. : Транспорт, 1964. 34 с.
7. Коган А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. М. : Транспорт, 1997. 325 с.
8. Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь. М. : Транспорт, 1969. 206 с.
9. Вершинский С.В., Данилов В.И., Хусидов В.Д. Динамика вагона. М. : Транспорт, 1991. 360 с.
10. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. М. : Транспорт, 1987. 479 с.
11. Диль В.Ф., Ермоленко И.Ю., Железняк В.Н. Анализ параметров динамики вагона в кривых участках ВСЖД малого радиуса с использованием специализированного комплекса // Безопасность регионов – основа устойчивого развития : материалы IV междунар. конф. Иркутск, 2014. Т. 1-2. С. 104–108.
12. Ермоленко И.Ю., Железняк В.Н., Мартыненко Л.В. Анализ силового воздействия на колесо-рельс в условиях эксплуатации пути на горных перевалах малого радиуса ВСЖД // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2016. Т. 2. С. 531–534.
13. Уровень взаимодействия подвижного состава и пути в зависимости от его состояния / Д.В. Овчинников, А.Ю. Абдурашитов, В.А. Покацкий и др. // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство : тр. XVII науч.-практ. конф. с междунар. участием. Москва, 2021. С. 4–13.
14. Галлямов Д.И., Овчинников Д.В. Влияние подуклонки рельсов на контактные напряжения и давления в системе «колесо – рельс» // Вестн. науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта. 2023. Т. 82. № 1. С. 9–17.
15. Оценка напряженно-деформированного состояния рельсов при различных условиях эксплуатации на основе моделирования методом конечных элементов / А.Ю. Абдурашитов, Д.В. Овчинников, В.П. Сычев и др. // Известия Транссиба. 2023. № 1 (53). С. 62–73.
16. Галлямов Д.И., Овчинников Д.В. Изменение параметров пятна контакта системы «колесо – рельс» в процессе совершенствования профиля рельса // Наука и образование транспорту. 2021. № 2. С. 212–217.
17. Покацкий В.А., Овчинников Д.В., Галлямов Д.И. Контактные напряжения при различном расположении колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 3. С. 7–10.
18. Работа пути в условиях тяжеловесного движения / О.А. Суслов, В.О. Певзнер, И.Б. Петропавловская и др. // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути : тр. XIII Междунар. науч.-техн. конф. чтения, посвящ. памяти профессора Г.М. Шахуняца. М., 2016. С. 138–140.

References

1. Al'brecht V.G., Shiladzhyan A.A. Rabota rel'sov v krutykh krivykh [The work of rails in steep curves]. *Trudy Vserossiiskogo ordena Trudovogo Krasnogo Znameni nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnoogo transporta «Povyshenie nadezhnosti raboty verkhnego stroeniya puti v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii»* [Proceedings of the All-Russian Order of the Red Banner of Scientific-Research Institute of Railway Transport «Improving the reliability of the upper structure of the track in modern operating conditions»]. Moscow, 2000, pp. 42–54.
2. Velichko D.V. Vliyaniye tipa rel'sovykh skreplenii na razmer shiriny kolei, poluchaemoy pri sborke rel'soshpal'noi reshетки [The influence of the type of rail fasteners on the size of the track width obtained during the assembly of the rail grating]. *Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy Transsiba na sovremennom etape»* [Proceedings of the Scientific-Practical Conference «Actual problems of the Trans-Siberian Railway at the present stage»]. Novosibirsk, 2001, pp. 245.
3. Velichko D.V. Vliyaniye konstruksii promezhutochnykh skreplenii na shirinu rel'sovoi kolei [The influence of intermediate fastener designs on the width of the rail track]. *Sbornik nauchnykh trudov «Zheleznye i avtomobil'nye dorogi v usloviyakh Sibiri»* [Proceedings «Railways and highways in Siberian conditions»]. Novosibirsk, 2003, pp. 108–116.
4. Verigo M.F. Vzaimodeistvie puti i podvizhnogo sostava v krivykh malogo radiusa i bor'ba s bokovym iznosom rel'sov i grebnei koles [Interaction of track and rolling stock in small radius curves and the fight against lateral wear of rails and wheel ridges]. Moscow: PTKB TsP MPS Publ., 1997. 207 p.
5. Ershkov O.P. Postroeniye grafikov udel'nykh kharakteristik i grafikov-pasportov vpsyvaniya zheleznodorozhnykh ekipazhei v krivye (teoreticheskie osnovy) [Plotting of specific characteristics and schedules-passports inscribing railway crews in curves (theoretical foundations)]. *Trudy VNIIZHT* [Proceedings of the All-Union Scientific-Research Institute of Railway Transport], 1963, is. 268, pp. 64–125.
6. Ershkov O.P. Primeneniye grafikov-pasportov dlya otsenki vozddeistviya lokomotivov na put' v krivykh [Application of schedules-passports to assess the impact of locomotives on the track]. Moscow: Transport Publ., 1964. 34 p.

7. Kogan A.Ya. Dinamika puti i ego vzaimodeistvie s podvizhnym sostavom [Dynamics of the track and its interaction with rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1997. 325 p.
8. Kogan A.Ya. Vertikal'nye dinamicheskie sily, deistvuyushchie na put' [Vertical dynamic forces acting on the track]. Moscow: Transport Publ., 1969. 206 p.
9. Vershinskii S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. Dinamika vagona [Wagon Dynamics]. Moscow: Transport Publ., 360 p.
10. Shakhunyants G.M. Zheleznodorozhnyi put' [Railway track]. Moscow: Transport Publ., 1987. 479 p.
11. Dil' V.F., Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N. Analiz parametrov dinamiki vagona v krivykh uchastkakh VSZhD malogo radiusa s ispol'zovaniem spetsializirovannogo kompleksa [Analysis of the parameters of the dynamics of the wagon in the curved sections of the small-radius of East Siberian railway with the use of a specialized complex]. *Materialy IV Mezhdunarodnoi konferentsii «Bezopasnost; regionov – osnova ustoychivogo razvitiya»* [Proceedings of the IV International Conference «Regional security – the basis of sustainable development»]. Irkutsk, 2014, vol. 1-2, pp. 104–108.
12. Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N., Martynenko L.V. [Analysis of the force effect on the wheel-rail in the conditions of operation of the track on the mountain passes of the small radius of the East Siberian Railway]. *Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the VII International Scientific-Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2016, vol. 2, pp. 531–534.
13. Ovchinnikov D.V., Abdurashitov A.Yu., Pokatskii V.A., Kadyrov R.R. Uroven' vzaimodeistviya podvizhnogo sostava i puti v zavisimosti ot ego sostoyaniya [The level of interaction of rolling stock and track depending on its condition]. *Trudy XVII nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Vnedrenie sovremennykh konstruktivnykh i peredovykh tekhnologii v putevoe khozyaistvo»* [Proceedings of the XVII Scientific and Practical Conference with international participation «Introduction of modern structures and advanced technologies into the track facilities»]. Moscow, 2021, pp. 4–13.
14. Gallyamov D.I., Ovchinnikov D.V. Uroven' vzaimodeystviya podvizhnogo sostava i puti v zavisimosti ot ego sostoyaniya [The influence of rail inclination on contact stresses and pressures in the «wheel – rail» system]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport], 2023, vol. 82, no. 1, pp. 9–17.
15. Abdurashitov A.Yu., Ovchinnikov D.V., Sychev V.P., Sycheva A.V. Vliyanie poduklonki rel'sov na kontaktnye napryazheniya i davleniya v sisteme «koleso – rel's» [Assessment of the stress-strain state of rails under various operating conditions based on modeling by the finite element method]. *Izvestia Transsiba* [Bulletins of Transsib], 2023, no. 1 (53), pp. 62–73.
16. Gallyamov D.I., Ovchinnikov D.V. Izmenenie parametrov pyatna kontakta sistemy «koleso – rel's» v protsesse sovershenstvovaniya profilya rel'sa [Changing the parameters of the contact patch of the «wheel – rail» system in the process of improving the rail profile]. *Nauka i obrazovanie transportu* [Science and education for transport], 2021, no. 2, pp. 212–217.
17. Pokatskii V.A., Ovchinnikov D.V., Gallyamov D.I. Kontaktnye napryazheniya pri razlichnom raspolozhenii kolesa i rel'sa [Contact stresses at different arrangements of the wheel and rail]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and track facilities], 2020, no. 3, pp. 7–10.
18. Suslov O.A., Pevsner V.O., Petropavlovskiy I.B., Tret'yakov V.V., Gromova T.I., Tret'yakov I.V., Shapetko K.V., Smelyanskaya I.S., Tomilenko A.S. Rabota puti v usloviyakh tyazhelovesnogo dvizheniya [The work of the track in conditions of heavy traffic]. *Trudy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Chteniya, posvyashchennye pamyati professora G.M. Shakhunyantsa «Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti»* [Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference. Readings dedicated to the memory of Professor G.M. Shakhunyants «Modern problems of design, construction and operation of a railway track»]. Moscow, 2016, pp. 138–140.

Информация об авторах

Ковенькин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: kovenkin_da@irgups.ru.

Information about the authors

Dmitrii A. Koven'kin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: kovenkin_da@irgups.ru.