

УДК:656.002

Москвитина А.В., Насников Д.Н.

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия

АНАЛИЗ БОКОВОГО ИЗНОСА РЕЛЬСОВ НА УЧАСТКАХ ЗИМИНСКОЙ ДИСТАНЦИИ ПУТИ

Аннотация: Одной из главных проблем сферы железнодорожного транспорта является изнашиваемость основных элементов верхнего строения пути и колес подвижного состава. Появление данной проблемы послужило взаимодействием колеса и рельса, которое влияет на возникновение силы взаимодействия. Данная сила складывается из трех компонентов: вертикальной, горизонтальной и продольной.

В работе рассмотрены проблемы связанные с взаимодействием колеса и рельса при использовании тяжеловесных и длинносоставных поездов в кривых малого радиуса. Приведен ряд закономерностей оказывающих влияние на появление и рост изнашиваемости рельсов в боковом направлении.

Целью данной работы является исследование интенсивности бокового износа в кривых по результатам проверки диагностическим комплексом ДКИ 1050 от 08.10.2022 г. на участках Тулун–Иркутск–Сортировочный, определение основных факторов, влияющих на интенсивность бокового износа рельсов.

Ключевые слова: Боковой износ, интенсивность, кривые малого радиуса.

Moskvitina A.V., Nasnikov D.N.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

ANALYSIS OF LATERAL WEAR OF RAILS ON SECTIONS OF THE WINTER TRACK DISTANCE

Abstract: One of the main problems in the field of railway transport is the wear and tear of the main elements of the superstructure of the track and the wheels of the rolling stock. The appearance of this problem was the interaction of the wheel and the rail, which affects the emergence of the interaction force. This force consists of three components: vertical, horizontal and longitudinal.

The paper considers the problems associated with the interaction of the wheel and rail when using heavy and long trains in curves of small radius. A number of regularities influencing the appearance and growth of wear of rails in the lateral direction are given.

The purpose of this work is to study the intensity of lateral wear in the curves based on the results of testing by the diagnostic complex DKI 1050 dated October 08, 2022 at the Tulun–Irkutsk–Sortirovochny sections, to determine the main factors affecting the intensity of lateral wear of rails.

Key words: Lateral wear, intensity, small radius curves.

Введение.

Главной задачей в сфере железнодорожного транспорта является увеличение объема грузоперевозок, что влечет за собой использование тяжеловесных, длинносоставных поездов. В настоящее время широко применяются грузовые вагоны с нагрузкам 230 кН/ось. Это влечет за собой увеличение роста интенсивности бокового изнашивания рельсов и колес подвижного состава. Особенно остро данная проблема проявляется на участках со сложными условиями эксплуатации, а именно на горно-перевальных участках с большим количеством кривых малого радиуса. Исследования показывают, что 80% повреждений рельсов происходит в кривых участках малого радиуса из-за повышенного воздействия колес подвижного состава на путь.

Причины появления бокового износа.

Выделяют внутренние и внешние факторы, оказывающие влияние на интенсивность бокового износа рельсов. Внешним фактором является степень проскальзывания гребней колес по боковой грани рельсов при качении, а внутренними считаются: твердость стали, содержание углерода, микроструктура и содержание серы. Так же результате наблюдений установлен ряд закономерностей влияющих на износ рельсов и колесных пар. К ним относят:

1. Интенсивность износа, которая зависит от радиуса кривой и определяется зависимостью:

$$\gamma_{\delta} = 0,15 \cdot \left(\frac{400}{R_{\text{кр}}} \right)^{2,5} \quad (1)$$

Наблюдения ученых за взаимодействием колес подвижного состава и радиусами показали, что в прямых и кривых радиусом более 1000 м движение происходит без износа гребней колес и боковых гребней рельсов. В кривых радиусом от 1000 м до 650 м интенсивность бокового износа возрастает по мере уменьшения радиуса, что связано с более частым контактированием колес с рельсом. На участках пути где радиус менее 650 м интенсивность бокового износа большая из-за постоянного контакта гребней колес с рельсами при выписывании ходовых тележек.

2. Рост вертикальной и горизонтальной жесткости пути, то есть внедрение рельсов тяжелого типа, железобетонных шпал и жестких скреплений;

3. Электрическое торможение с головы состава, что влечет за собой движение вагонов в принудительно перекошенном состоянии;

4. Внедрение тяжеловесных и длинносоставных поездов.

После завершения приработки износ рельсов нарастает прямо пропорционально количеству прошедшего по участку груза (брутто), из этого следует, что боковой износ рельсов в первую очередь определяется грузонапряженностью участка. Так же на нагрузку оказывает план и профиль пути. Боковой износ проявляется неоднородно на участках одной и той же кривой одного радиуса.

Замеры бокового износа производятся в точку через 10 м на уровне 13 мм от поверхности катания в плетях бесстыкового пути (Рисунок 1). Так же для наружных (упорных) нитей кривых радиусом не менее 1000 м характерен чрезмерный боковой износ головки рельса, который относят к дефекту 44.0.

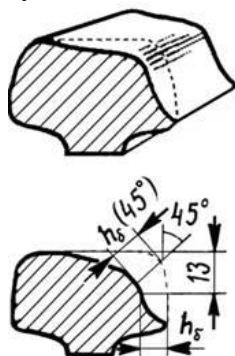


Рис. 1. Боковой износ рельса

Объектом исследования в данной работе были выбраны участки пути, обслуживаемые ПЧ-3 Тулун, ПЧ-4 Зима, ПЧ-5 Черемхово, ПЧ-7 Иркутск–Сортировочный.

Участок Тулун – Иркутск–Сортировочный грузонапряженный со скоростями движения пассажирских поездов – 90 км/ч, грузовых – 80 км/ч. Верхнее строение пути представляет бесстыковой путь с рельсами Р65, категорией качества – термоупрочненные, железобетонными шпалами, с отдельными промежуточными скреплениями ЖБР.

Для исследования нарастания бокового износа и измерения параметров наработки тоннажа на 2 пути участка Тулун – Иркутск–Сортировочный используем данные о сверхнормативном боковом износе, выявленные при проверке диагностическим комплексом ДКИ 1050 8.10.2022 года. Результаты данных замеров представим в виде диаграмм на рисунке 2 и на рисунке 3.

Количество выявленных замечаний для ПЧ-3, ПЧ-4, ПЧ-5, ПЧ-7

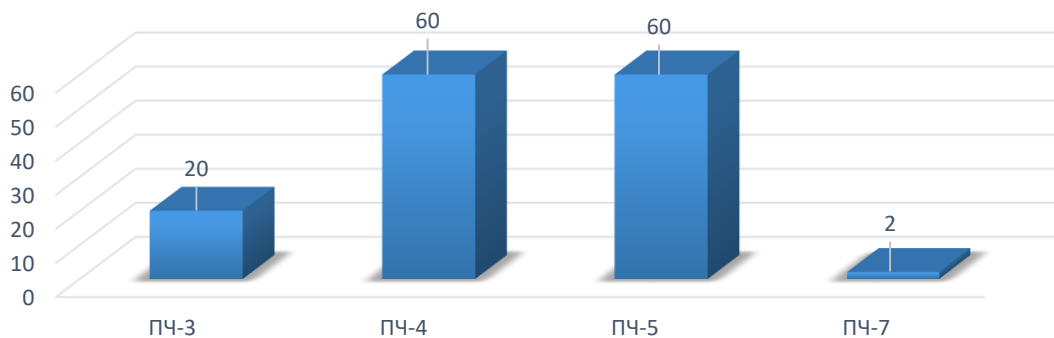


Рис. 2. Количество выявленных замечаний для ПЧ-3, ПЧ-4, ПЧ-5, ПЧ-7

Анализ величины бокового износа

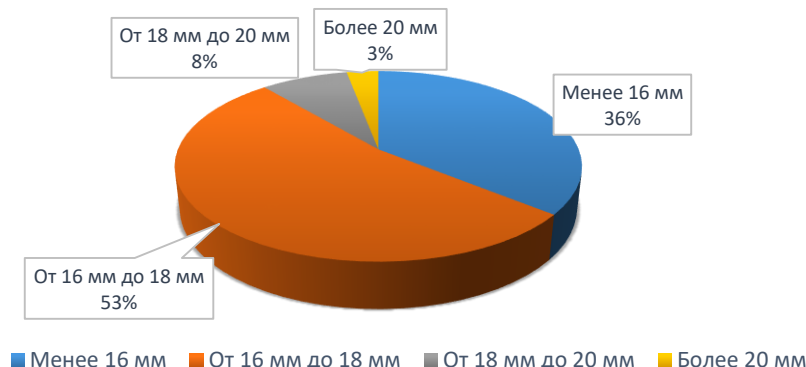


Рис. 3. Анализ величины бокового износа

Из диаграммы, представленной на рисунке 1 видно, что наиболее сильно боковому износу подвержены участки пути, обслуживаемые ПЧ-4 и ПЧ-5. Это связано с большим количеством кривых малого радиуса в пределах данных дистанций пути. В меньшей степени с проблемой бокового износа сталкиваются ПЧ-3 и ПЧ-7.

Так же из рисунка 2 мы можем отметить, что наиболее часто встречается сверхнормативный износ величиной от 16 мм до 18 мм, что составляет 53%, реже встречается боковой износ менее 16 мм. Данный факт говорит о том, что на участках пути необходимо принять меры для обеспечения безопасности движения поездов, а именно организовать натурные осмотры кривых и установить скоростной режим для данных участков дороги.

Не мало важными факторами, влияющим на рост бокового износа, является смазка, подуклонка рельсов, радиус кривой, уровень непогашенного ускорения. Все эти факторы помогают снизить уровень бокового износа на сложных участках пути.

Более подробно изучим перегон Хотхор–Головинская Зиминской дистанции пути. Данный перегон находится в сложных климатических условиях, а также имеет большое количество кривых радиуса 351–500 м. Подробная информация представлена на рисунке 4.

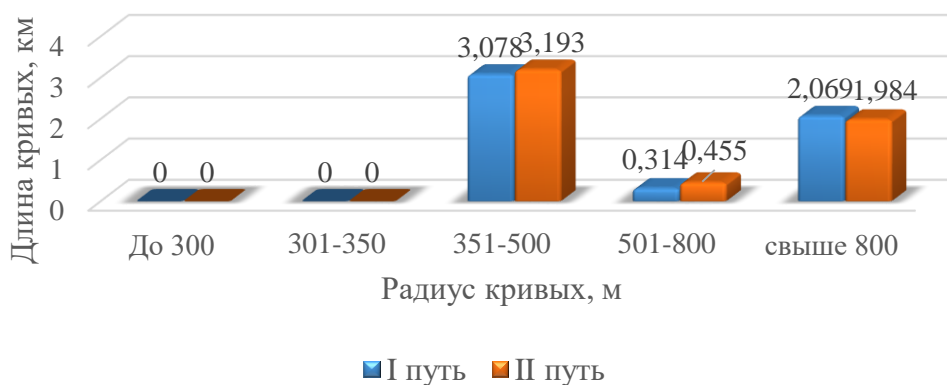


Рис.4. Протяжение кривых участков пути перегона Хотхор–Головинская в зависимости от радиуса кривых

Среднее значение прироста бокового износа рельсов для 1 пути равняется +0,01 мм в месяц, тогда как для 2 пути это значение значительно выше – +0,33 мм в месяц. Следовательно, 2 путь перегона больше подвержен влиянию бокового износа, вследствие повышенной грузонапряженности на путь.

Интенсивность нарастания бокового износа может зависеть и от радиуса кривой на которой он располагается. Данная зависимость представлена для перегона Хотхор – Головинская Зиминской дистанции пути с пропущенным тоннажом на 1.01.2023 г. для первого пути – 894,18 млн. т. брутто, для второго пути – 586,94млн.т. брутто на рисунке 5 и рисунке 6.

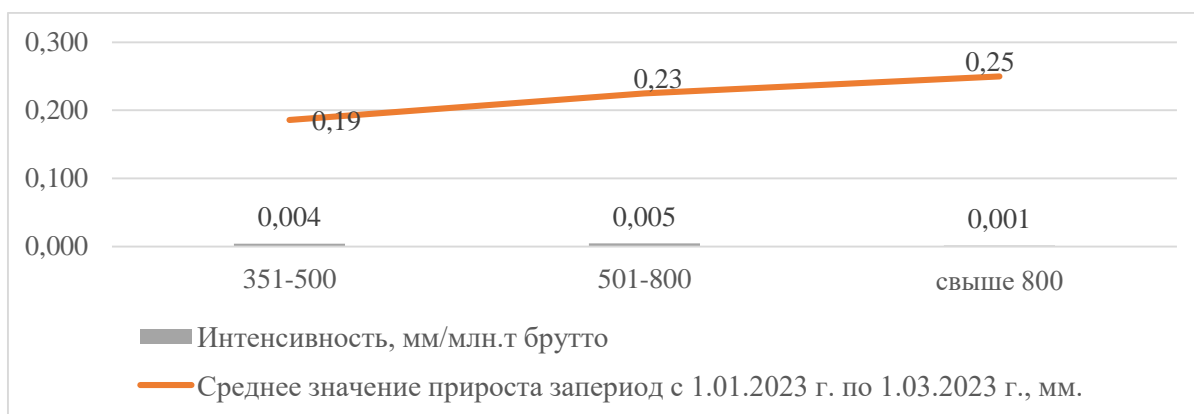


Рис. 5. Средняя интенсивность нарастания бокового износа и его прирост для 1-ого пути в зависимости от радиуса кривой

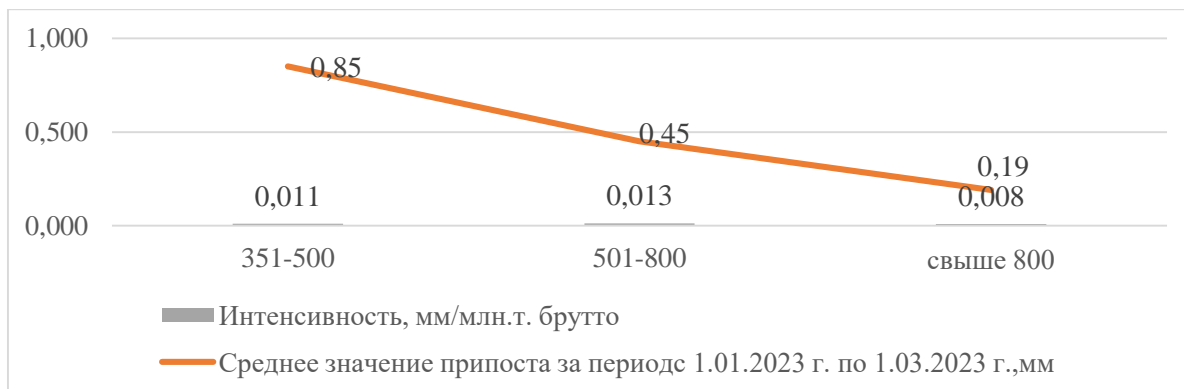


Рис. 6. Средняя интенсивность нарастания бокового износа и его прирост для 2-ого пути в зависимости от радиуса кривой

Для того, чтобы проанализировать рост бокового износа рельсовых плетей в кривых участках перегона Хотхор–Головинская будем использовать программное обеспечение «Универсальный механизм».

«Универсальный механизм» – это программный комплекс, который предназначен для моделирования динамики и кинематики плоских и пространственных механических систем. Данная программа поддерживает анимацию в процессе расчета, заданной модели.

В данной программе имеется возможность задавать параметры кривых и подвижных составов, что позволит отследить максимальные и минимальные силы, которые оказывают давление в различных направлениях на рельсовую плетть в кривом участке пути. Для проведения анализа сил действующих на рельсовые плети было отобрано 20 рельсовых плетей кривого участка перегона Хотхор – Головинская. Данные полученные, с помощью программного комплекса представлены в таблице 1.

Из графиков видно, что радиус кривой оказывает существенное значение на силы, действующие в поперечном направлении. Чем больше радиус кривой, тем ниже значение действующих сил, следовательно, износ плетей с большим радиусом происходит медленнее, а срок их эксплуатации намного длиннее. Зависимость сил, действующих на упорную и нижнюю нить от радиуса кривой представлена на рисунке 7.

Таблица 1 – Средние значения сил, действующих от подвижного состава в зависимости от радиуса кривой

Наименование показателя			Радиус кривой, м		
			1	2	3
			400-1100	1101-1800	1801-2500
Нагрузки действующие в поперечном направлении, кН	по упорной нити	max	43,88	24,30	12,78
		min	0,99	1,60	1,00
	По нижней нити	max	31,81	20,40	11,58
		min	0,73	1,00	1,58
Нагрузки действующие в продольном направлении, кН	по упорной нити	max	6,57	6,20	6,23
		min	0,59	1,50	0,40
	По нижней нити	max	6,63	6,20	6,20
		min	0,65	1,50	0,44

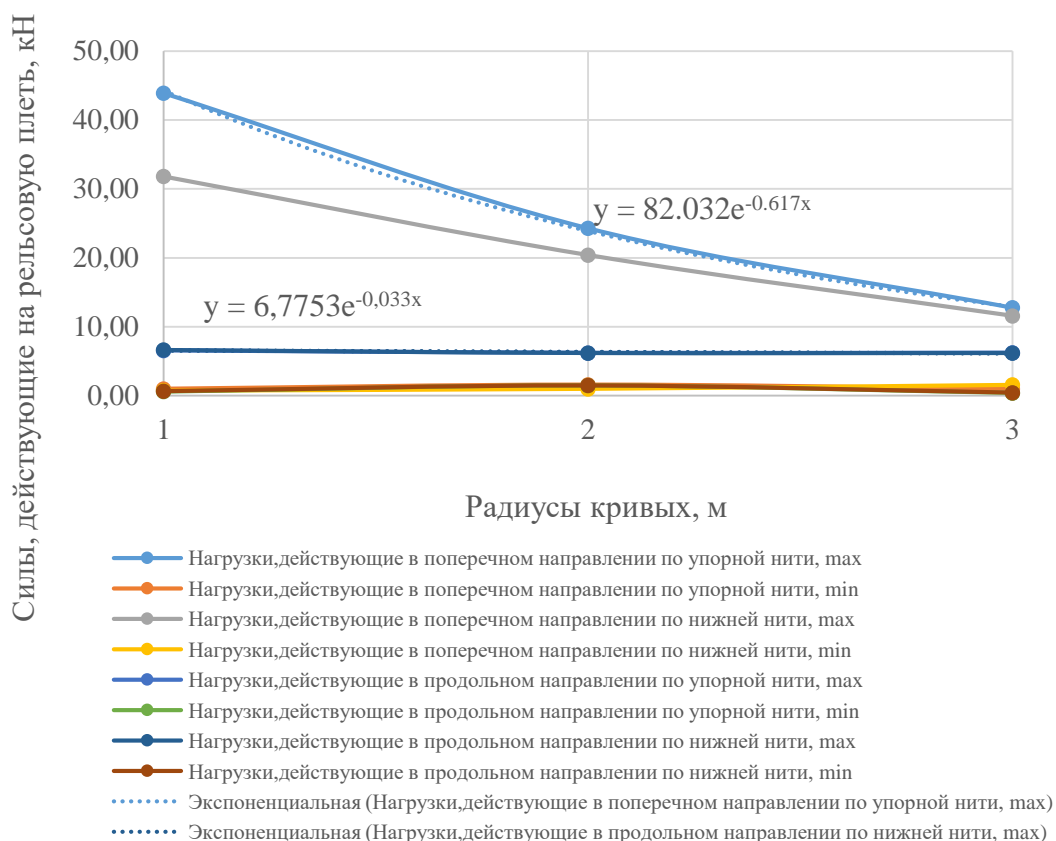


Рис. 7. График зависимости сил в зависимости от радиуса кривой, действующих на упорную и нижнюю кривую

Анализ показал, что интенсивность бокового износа рельсов зависит от радиуса кривых участков пути, а также от грузонапряженности и пропущенного тоннажа. Это связано с затруднительным вписыванием экипажа в кривые малого радиуса и движением подвижных составов с повышенными осевыми нагрузками, в следствии чего, боковые силы становятся более высокими.

Для того, чтобы прогнозировать рост бокового износа рельсов на железных дорогах России была разработана Методика прогнозирования износа рельсов различных категорий качества с нормативами интенсивности износа рельсов различных категорий качества в зависимости от условий эксплуатации. Она является нормативно-техническим документом, который определяет принципы прогнозирования бокового и вертикального износа рельсов различных категорий в современных и перспективных условиях эксплуатации, в том числе при высокой грузонапряженности в условиях обращения грузовых поездов повышенной массы и длины.

Расчет по данной методике будем проводить для двух рельсовых плетей перегона Хотхор – Головинская. Исходные данные для данных плетей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета срока службы рельсов

Наименование параметра	Данные для плети №330 (упорная)	Данные для плети №331 (нижняя)
Тип промежуточных рельсовых скреплений	ЖБР	ЖБР
Радиус кривой, м	420	420
Возвышение наружного рельса, мм	120	120
Скорость движения грузового/пассажирского подвижного состава, км/ч	75/75	75/75
Категория качества рельсов	ДТ370	ДТ370
Тип локомотива/вагонов	ЭП1/ВЛ85	ЭП1/ВЛ85

Периодичность лубрикации рельсов	отсутствует	отсутствует
Тип смазки	отсутствует	отсутствует
Величины уклонов	4,5‰	4,5‰

Непогашенное ускорения для данного кривого участка составит $0,3 \text{ м/с}^2$.

Из полученных данных определяем величину бокового и вертикального износа рельсов по наружной нити и вертикальный износ рельсов по внутренней нити.

Боковой износ наружного рельса в кривом участке пути на перегоне Хотхор – Головинская составляет:

$$J_{\text{факт}}^{\text{бок}} = 0,0810 \cdot 0,94 \cdot 1,326 \cdot 1 \cdot 1,12 \cdot 1,05625 \cdot 0,9932 = 0,12317 \text{ мм/млн.т.брутто}$$

Вертикальный износ наружного рельса в кривом участке пути на перегоне Хотхор – Головинская составляет:

$$J_{\text{факт}}^{\text{вн}} = 0,00188 \cdot 0,94 \cdot 1,116 \cdot 1,06 \cdot 1,05625 \cdot 1,019 = 0,00225 \text{ мм/млн.т.брутто}$$

Вертикальный износ внутреннего рельса в кривом участке пути на перегоне Хотхор – Головинская составляет:

$$J_{\text{факт}}^{\text{вв}} = 0,00308 \cdot 0,94 \cdot 1,052 \cdot 0,96 \cdot 1,5625 \cdot 0,977 = 0,00446 \text{ мм/млн.т.брутто}$$

Фактическая интенсивность износа рельсовых плетей на данном участке составляет $0,10258 \text{ мм/млн.т.брутто}$, что говорит о разности расчетного и фактического значения на $16,7\%$.

Что бы определить продолжительность срока службы расчетных рельсовых плетей необходимо найденные значения подставить в формулы 1, 2, 3:

$$T_{\text{р}}^{\text{бок}} = \frac{20}{J_{\text{факт}}^{\text{бок}}} \quad (1)$$

$$T_{\text{р}}^{\text{вн}} = \frac{10}{J_{\text{факт}}^{\text{вн}}} \quad (2)$$

$$T_{\text{р}}^{\text{вв}} = \frac{10}{J_{\text{факт}}^{\text{вв}}} \quad (3)$$

где $20, 10$ – предельно допустимая величина бокового износа при условии снижения скорости движения поездов в соответствии с инструкцией «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и острodefектных рельсов», утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 23.ноября 2014 № 2499р.

$$T_{\text{р}}^{\text{бок}} = \frac{20}{J_{\text{факт}}^{\text{бок}}} = \frac{20}{0,11863} = 168,59 \text{ млн. т. брутто}$$

$$T_{\text{р}}^{\text{вн}} = \frac{10}{J_{\text{факт}}^{\text{вн}}} = \frac{10}{0,00225} = 4444,44 \text{ млн. т. брутто}$$

$$T_{\text{р}}^{\text{вв}} = \frac{10}{J_{\text{факт}}^{\text{вв}}} = \frac{10}{0,00446} = 2242,15 \text{ млн. т. брутто}$$

Для того, чтобы определить год выхода плети из стоя необходимо полученный тоннаж разделить на среднегодовой пропущенный тоннаж на перегоне Хотхор – Головинская по 2-ому пути и прибавить к нему год укладки рельсовой плети в путь.

$$T^{\text{бок}} = \frac{168,59}{158,9} = 1 \text{ год } 7 \text{ месяцев};$$

$$T^{\text{вн}} = \frac{4444,44}{158,9} = 27 \text{ лет } 10 \text{ месяцев};$$

$$T^{\text{вв}} = \frac{2242,15}{158,9} = 14 \text{ лет } 1 \text{ месяц}.$$

Данная методика позволяет определить пропущенный тоннаж, который приведет к дальнейшему выходу плети из строя, но имеется необходимость учета ошибки расчетного значения, которая составляет 20%.

Заключение

Данная методика является не совершенной, так как не позволяет путем расчета определить дату выхода рельсовой плети из строя, но помогает спрогнозировать поломки пути для принятия решения о его предварительном ремонте.

Рост бокового износа рельсовых плетей в кривых участках пути остается наиболее острой проблемой для путевого хозяйства ОАО «РЖД». Избежать данной проблемы не получится, но благодаря использованию лубрикаторов или же модификаторов трения, удастся снизить воздействие на рельсовые плети, как следствие, продлить их срок службы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ромен Ю. С. Определение сил взаимодействия в системе колесо–рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса / Ю. С. Ромен, О. А. Суслов, А. А. Баляева // Вестн. ВНИИЖТ. – 2017. – Т. 76. – № 6. – С. 354–361.
2. Бромберг Е. М. Взаимодействие пути и подвижного состава / Е. М. Бромберг, М. Ф. Вериги, В. Н. Данилов, М. А. Фришман. – М. : Трансжелдориздат, 1956. – 280 с.
3. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках / О. П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 264. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – С. 39–98.
4. Ершков О. П. Установление коэффициентов, учитывающих боковой изгиб и кручение рельсов О. П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 97. – М. : Трансжелдориздат, 1955. – С. 289–325.
5. Бржезовский А. М. Экспериментальная оценка взаимодействия экипажа и пути при скоростном и высокоскоростном движении : колл. монография / А. М. Бржезовский, Д. Н. Аршинцев, О. Г. Бржезовская и др. ; под ред. А. М. Бржезовского. – М. : РАС, 2019. – 152 с.
6. В.Е. Ефименко Определение уширения рельсовой колеи в кривых малого радиуса с учетом жесткости пути и типа скрепления/ В.Е. Ефименко, Д.Н. Насников //Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Десятой Междунар. науч.-практ. конф., 21 – 24 мая 2019 г. Иркутск : в 2т. – Иркутск : ИрГУПС, 2019. – Т.1. – С.442-447

REFERENCES

1. Romen, Yu. S., Suslov, OA, and Balyaeva, AA, Determination of the interaction forces in the wheel-rail system based on the measurement of stresses in the rail neck, Vestn. VNIIZhT. - 2017. - T. 76. - No. 6. - S. 354–361.
2. Bromberg E. M. Interaction of track and rolling stock / E. M. Bromberg, M. F. Verigo, V. N. Danilov, M. A. Frishman. - M. : Transzheldorizdat, 1956. - 280 p.
3. Ershkov O. P. Study of the rigidity of the railway track and its influence on the work of rails in curved sections / O. P. Ershkov // Proceedings of the TsNII MPS. - Issue. 264. - M. : Transzheldorizdat, 1963. - S. 39–98.
4. Ershkov O. P. Establishment of coefficients that take into account lateral bending and torsion of rails O. P. Ershkov // Proceedings of the Central Research Institute of MPS. - Issue. 97. - M. : Transzheldorizdat, 1955. - S. 289-325.
5. Brzhezovsky A. M. Experimental assessment of the interaction of the crew and the path in high-speed and high-speed movement: call. monograph / A. M. Brzhezovsky, D. N. Arshintsev, O. G. Brzhezovskaya and others; ed. A. M. Brzhezovsky. - M. : RAS, 2019. - 152 p.
6. V.E. Efimenko Determination of rail gauge expansion in curves of small radius, taking into account the rigidity of the track and the type of fastening / V.E. Efimenko, D.N. Nasnikov // Transport infrastructure of the Siberian region: Tenth Intern. scientific-practical. Conf., May 21 - 24, 2019 Irkutsk: in 2 volumes. - Irkutsk: IrGUPS, 2019. - V.1. – P.442-447.

Информация об авторах

Москвитина Анастасия Вячеславовна – студент гр. СЖД 2-18-1, кафедра «Путь и путевое хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: 15nastya20@gmail.com.

Насников Дмитрий Николаевич – к.т.н, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Nasnikov_DN@irgups.ru.

Author information

Moskvitina Anastasia Vyacheslavovna - student gr. SZD 2-18-1, Department of Railways and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: 15nastya20@gmail.com.

Nasnikov Dmitry Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Nasnikov_DN@irgups.ru.