

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 625.143.1 + 625.031.1

EDN: <https://elibrary.ru/spxxxe>

Разработка новых ремонтных профилей рельсов для различных условий эксплуатации

О. А. Суслов, И. В. Хромов✉

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время на рельсах преобладают контактно-усталостные дефекты, увеличилась интенсивность образования бокового и вертикального износов рельсов. Авторы считают, что необходима разработка новых ремонтных профилей для участков с различным планом пути по причине недостаточности ремонтных профилей в действующей нормативно-технической документации, при этом должны быть учтены особенности взаимодействия колес с рельсами в кривых различных радиусов и прямых.

Материалы и методы. С целью определения новых ремонтных профилей головки рельсов для различных условий эксплуатации были проведены расчеты влияния профилей колес и рельсов на силовое воздействие на путь с помощью программного комплекса «Универсальный механизм». Для выбора рациональных параметров поверхности катания головок рельсов применены методы математического анализа. Были смоделированы варианты конического колеса с двухточечным контактированием: новое колесо и среднеизношенный профиль. Были смоделированы профили рельсов типа Р65: новые профили, Р65 среднесетевой, Р65К.

Результаты. На основании полученных в результате расчетов и анализа данных сформированы рекомендуемые параметры поверхности катания для минимизации интенсивности образования дефектов и износов рельсов. Разработаны ремонтные профили головок рельсов для различных условий эксплуатации с целью их применения в программах шлифования.

Обсуждение и заключение. В качестве критерия назначения шлифования целесообразно включить основные параметры поверхности катания: центральный радиус катания R_1 и длину дуги центрального радиуса d . Полученные в результате ремонтные профили могут быть использованы при актуализации действующей нормативно-технической документации на шлифование рельсов в пути.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рельс железнодорожный, ремонтный профиль, пропущенный тоннаж, повреждаемость, износ, радиус поверхности катания, длина дуги центрального радиуса, нормативно-техническая документация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Суслов О. А., Хромов И. В. Разработка новых ремонтных профилей рельсов для различных условий эксплуатации // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 2. С. 111–123.



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 625.143.1+625.031.1

EDN: <https://elibrary.ru/spxxxe>



Development of new rail repair profiles for different operating conditions

Oleg A. Suslov, Ilya V. Khromov✉

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Currently, contact-fatigue defects prevail on rails with increased intensity of lateral and vertical rail wear. The authors consider it essential to develop rational repair profiles for sections with different track plan, as current repair profile regulations are insufficient, while taking into account the wheel and rail interaction in curves of different radii and straight lines.

Materials and methods. Optimal rail head repair profiles were determined for different operating conditions by calculating the effect of wheel and rail profiles on the force impact on the track using the Universal Mechanism software. The rational parameters of the rail head tread surface were selected by mathematical analysis. The authors modeled variants of a conical wheel with two-point contact: a new wheel and a moderately worn profile. R65 type rail profiles were modeled: new profiles, R65 medium-grid, R65K.

Results. The calculation and analysis data formed the basis for the recommended tread surface parameters to minimise the intensity of defect formation and rail wear. The authors developed rail head repair profiles for various operating conditions to be applied in grinding programmes.

Discussion and conclusion. Grinding assignment criteria should include the basic parameters of the tread surface: central rolling radius R_1 and arc length of the central radius d . The resulting repair profiles could be used to update the rail track grinding regulations.

KEYWORDS: rail, repair profile, handled tonnage, damage rate, wear, tread surface radius, central radius arc length, regulatory documentation

FOR CITATION: Suslov O. A., Khromov I. V. Development of new rail repair profiles for different operating conditions. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(2):111-123. (In Russ.).

Введение. Рост объемов перевозок, особенно грузовых, приводит к увеличенному поезвному воздействию на путь. В связи с этим в текущем содержании пути появляются новые аспекты, с которыми не приходилось сталкиваться еще 15 лет назад [1]. Характер повреждений рельсов, возникающих в процессе эксплуатации, изменился. Если раньше преобладали дефекты, связанные с качеством рельсовой стали, то сейчас основное внимание приходится уделять контактно-усталостным дефектам [2]. В данной ситуации требуется принятие дифференцированных мер противодействия интенсификации их образования и развития, причем в условиях сокращения длительности «окон» для выполнения путевых работ.

Помимо дефектов контактной усталости, увеличилась и интенсивность образования бокового и вертикального износов рельсов.

В действующей нормативно-технической документации (НТД)^{1,2} на шлифование рельсов в пути представлено 7 ремонтных профилей рельсов, а также 3 программы асимметричного шлифования для кривых малых и средних радиусов, не учтены особенности взаимодействия колес с рельсами в кривых различных радиусов. Этих профилей недостаточно для современных условий эксплуатации. Взаимодействие колеса и рельса является основой движения поездов по железным дорогам. По оценкам различных экспертов, из-за изнашивания в системе «колесо — рельс» потери расходуемых на тягу поездов топливно-энергетических ресурсов составляют от 10 до 30 % [3]. Необходима разработка рациональных ремонтных профилей для участков с различным планом пути для снижения интенсивности износов и развития дефектов контактной усталости в системе «колесо — рельс». Решение о необходимости разработки новых ремонтных профилей принято на совещаниях с участием представителей ОАО «РЖД», АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИКТИ», АО «РПМ», НПЦ ИНФОТРАНС, ФГБОУ ВО СГУПС.

В настоящее время АО «ВНИИЖТ» проводит работу в рамках проекта «Колесо — рельс» для улучшения взаимодействия главных элементов железнодорожного транспорта. С помощью программного комплекса «Универсальный механизм» разработаны ремонтные профили для оптимального взаимодействия в системе «колесо — рельс» с целью уменьшения износов и интенсивности развития дефектов контактной усталости. Добиться получения оптимальных параметров поверхности катания головок рельсов возможно только

с применением шлифования. О большом влиянии шлифования на оптимизацию взаимодействия колес и рельсов и увеличение их ресурса пишут в своих работах А. Ю. Абдурашитов [4–7], Л. Г. Крысанов [8], А. С. Ильиных, А. В. Матафонов [9], А. Guidat [10]. Перечисленные работы выполнены в период 1996–2014 гг., с тех пор изменились условия эксплуатации рельсов, увеличились длина и вес поезда, стали нормой более тяжелые условия движения в кривых малых радиусов, при этом сократилось наличие «окон» для выполнения работ по ремонту пути.

Внесение и апробация полученных профилей в НТД возможны в рамках предстоящей работы плана НТР ОАО «РЖД». Возможна и апробация полученных результатов на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ», что обеспечит наименьшую продолжительность испытаний [11, 12]. Другим способом обработки рельсов в пути и в стационарных условиях является фрезерование, но при нем нет возможности изменять параметры поверхности катания: фреза формирует жестко заданный профиль головки рельса [13–15]. Цель данной работы — обоснование оптимального профиля рельса для условий эксплуатации.

Методика исследования. Для анализа расчета влияния профилей колес на силовое воздействие на путь [16, 17] были смоделированы следующие варианты конического колеса по ГОСТ 10791—2011³ (двухточечное контактирование): новое колесо (далее — newwagnw) и среднеизношенный профиль из эксплуатации (далее — wornwagnw100000km).

Для анализа расчета влияния профилей рельсов на силовое воздействие на путь были смоделированы следующие профили рельсов: Р65 согласно ГОСТ Р 51685—2013⁴ (далее — R65new); Р65К согласно ГОСТ 51685—2013 (далее — R65K); среднесетевой Р65 (далее — R65worn) (рис. 1), а также новые профили рельса Р65.

Для создания профиля рельса в программном комплексе необходимы значения геометрических параметров:

d — длина дуги центрального радиуса катания головки рельса, мм;

D — ширина головки рельса, измеряемая между точками пересечений боковой и нижней граней головки рельса, мм;

H — высота головки рельса, измеряемая между верхней точкой рельса и точкой пересечения нижних граней головки рельса на его вертикальной оси, мм;

¹ Об утверждении и введении в действие Инструкции по шлифовке и фрезерованию рельсов в пути и стационарных условиях: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.2014 № 3185р (ред. от 03.06.2019). Доступ из АСПИЖТ.

² О введении в действие Технических указаний по шлифовке рельсов (вместе с Техническими указаниями по шлифованию рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов): утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22.02.2011 № 388р (ред. от 25.05.2022). Доступ из АСПИЖТ.

³ ГОСТ 10791—2011. Колеса цельнокатанные. Технические условия: дата введения 2012-01-01. М.: Стандартинформ, 2011. 35 с.

⁴ ГОСТ Р 51685—2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 96 с.

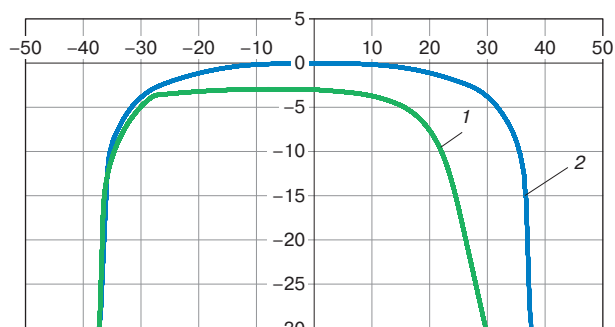


Рис. 1. Профили рельса типа Р65 (импорт из программного комплекса «Универсальный механизм»):

1 — изношенный рельс с боковым износом 13 мм и вертикальным износом 4 мм; 2 — новый рельс

Fig. 1. R65 type rail profiles (imported from the Universal Mechanism software):

1 — worn rail with lateral wear of 13 mm and vertical wear of 4 mm; 2 — new rail

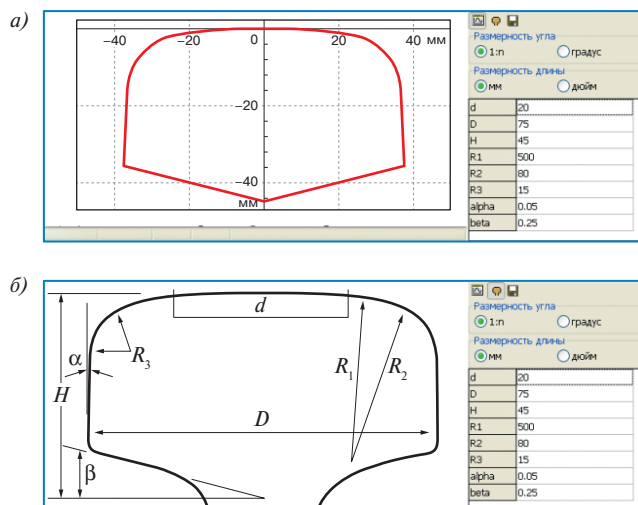


Рис. 2. Окно генератора профиля рельса в режимах отображения профиля (а) и схемы (б)

Fig. 2. Rail profile generator window in the profile display (a) and diagram display (b) modes

R_1 — центральный радиус катания головки рельса, мм;

R_2 — переходный радиус катания головки рельса, мм;

R_3 — радиус сопряжения переходного радиуса катания и боковой грани головки рельса, мм;

α — угол наклона боковой грани головки рельса относительно вертикальной оси рельса;

β — угол наклона нижней грани головки рельса относительно горизонтальной оси рельса.

На рис. 2. представлен интерфейс ввода вышеуказанных геометрических параметров в генератор профиля рельса.

Новые профили рельса Р65 были смоделированы по параметрам R_1 , d , R_2 , R_3 (рис. 2, б), где значение

параметра d выбирается исходя из минимизации краевых дефектов и равномерного распределения напряжений (табл. 1).

С помощью программного комплекса «Универсальный механизм» были получены расчетные значения сил воздействия на путь со стороны подвижного состава для различных параметров грузопотока и характеристик пути:

1. Различные профили колес.
2. Различные профили рельсов.
3. Тип тележки (двухосные).
4. Различная нагрузка на ось: 5,5; 6,0; 23,5; 25,0 т.
5. Радиус участков пути (м): прямые и пологие кривые ($R > 1200$), кривые среднего радиуса ($350 \leq R \leq 1200$) и кривые малого радиуса ($R < 350$).
6. Различные значения возвышения наружного рельса: 10, 80, 150 мм.
7. Различные значения подуклонки рельсов: 1/12, 1/20, 1/60.
8. Различные значения скорости: 40, 60, 80 км/ч.
9. Различные значения ширины колеи: 1505, 1520, 1530, 1540 мм.
10. Неровности геометрии колеи (хорошее качество пути; качество пути ближе к среднему; качество пути плохое, ближе к неудовлетворительному).
11. Различные значения коэффициентов трения (для поверхности катания — 0,25; 0,45; для бокового трения — 0,1; 0,25; 0,45).

По расчетным формулам, согласно методике расчета ресурса верхнего строения пути [18], были получены показатели повреждаемости (d_i) для элементов верхнего строения пути и накопления неисправностей рельсов. Повреждаемость рельса (для рассматриваемого вида дефекта) — показатель, функционально связывающий показатели взаимодействия пути и подвижного состава и условия эксплуатации с интенсивностью образования (накопления) рассматриваемого вида дефекта. Повреждаемость является нормированной, т. е. относительной величиной, измеряемой в единицах. Рассмотрены следующие показатели:

- дефекты поверхности катания (ДПК):

$$d_{\text{pc(ДПК)}} = \left[\left\langle \overline{\sigma_1^2} + (\widehat{\sigma_1})^2 \right\rangle + \left\langle \overline{\tau_1^2} + (\widehat{\tau_1})^2 \right\rangle \right]^{\frac{x_{\text{ДПК}}}{2}}; \quad (1)$$

- дефекты головки (ДГР):

$$d_{\text{pc(ДГР)}} = \left[\left\langle \overline{\sigma_1^2} + (\widehat{\sigma_1})^2 \right\rangle + \left\langle \overline{\sigma_2^2} + (\widehat{\sigma_2})^2 \right\rangle \right]^{\frac{x_{\text{ДГР}}}{2}}; \quad (2)$$

- вертикальный износ (ВИ):

$$d_{\text{pc(ВИ)}} = \left[\overline{MW_1^2} + (\widehat{MW_1})^2 \right]^{\frac{x_{\text{ВИ}}}{2}}; \quad (3)$$

- боковой износ (БИ):

$$d_{\text{pc(БИ)}} = \left[\overline{MW_2^2} + (\widehat{MW_2})^2 \right]^{\frac{x_{\text{БИ}}}{2}}; \quad (4)$$

для рельсовых скреплений:

$$d_{\text{скр}} = \left[\left(\overline{P_{\text{шп}}} \right)^2 + \left(\widehat{P_{\text{шп}}} \right)^2 \right]^{\frac{x_{P(\text{скр})}}{2}} + \left[\left(\overline{H_{\text{шп}}} \right)^2 + \left(\widehat{H_{\text{шп}}} \right)^2 \right]^{\frac{x_{H(\text{скр})}}{2}}, \quad (5)$$

где $\overline{\sigma_{1,2}}$ — приведенное среднее значение контактного давления в соответствующей точке контакта, МПа; $\widehat{\sigma_{1,2}}$ — приведенное среднеквадратическое отклонение контактного давления в соответствующей точке контакта, МПа; $\overline{\tau_1}$ — приведенное среднее значение касательных напряжений в точке контакта, МПа; $\widehat{\tau_1}$ — приведенное среднеквадратическое отклонение касательных напряжений в точке контакта, МПа; $x_{\text{ДПК}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние на повреждаемость дефектами поверхности катания нормальных давлений и касательных напряжений в точке контакта колесо—рельс на поверхности катания рельса; $x_{\text{ДГР}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние на повреждаемость дефектами поверхности катания нормальных давлений и касательных напряжений в точке контакта колесо—рельс на поверхности катания и боковой грани рельса; $x_{\text{ВИ}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние мощности сил трения по поверхности

катания рельса на его вертикальный износ; $x_{\text{БИ}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние мощности сил трения по боковой грани рельса на его боковой износ; $x_{P(\text{скр})}$, $x_{H(\text{скр})}$ — степенные коэффициенты, учитывающие влияние вертикальной и горизонтальной сил, действующих от рельса на шпалу, на значение повреждаемости скреплений; $\overline{MW_1}$ — приведенное среднее значение мощности сил трения в точке контакта № 1, Вт; $\widehat{MW_1}$ — приведенное среднеквадратическое отклонение мощности сил трения в точке контакта № 1, Вт; $\overline{MW_2}$ — приведенное среднее значение мощности сил трения в точке контакта № 2, Вт; $\widehat{MW_2}$ — приведенное среднеквадратическое отклонение мощности сил трения в точке контакта № 2, Вт; $\overline{P_{\text{шп}}}$ — среднее значение вертикальной силы, действующей на шпалу, кН; $\overline{H_{\text{шп}}}$ — среднее значение горизонтальной силы, действующей на шпалу, кН; $\widehat{P_{\text{шп}}}$ — среднеквадратическое отклонение значений вертикальных сил, действующих на шпалу; $\widehat{H_{\text{шп}}}$ — среднеквадратическое отклонение значений горизонтальных сил, действующих на шпалу.

Показатели повреждаемости вычисляются отдельно для правой и левой рельсовых нитей.

Для анализа влияния типа профиля колеса и очертаний профиля рельса на дефектность и износы рельсов

Таблица 1

Конфигурации новых профилей

Table 1

Configuration of new profiles

№ п/п	Обозначение профиля	Центральный радиус катания головки рельса R_1 , мм	Длина дуги центрального радиуса катания головки рельса d , мм	Переходный радиус катания головки рельса R_2 , мм	Радиус сопряжения переходного радиуса катания и боковой грани головки рельса R_3 , мм
1	R65_800(10)_80_15	800	10	80	15
2	R65_800(20)_80_15	800	20	80	15
3	R65_800(30)_80_15	800	30	80	15
4	R65_650(10)_80_15	650	10	80	15
5	R65_650(20)_80_15	650	20	80	15
6	R65_650(30)_80_15	650	30	80	15
7	R65_550(10)_80_15	550	10	80	15
8	R65_550(20)_80_15	550	20	80	15
9	R65_550(30)_80_15	550	30	80	15
10	R65_475(10)_80_15	475	10	80	15
11	R65_450(10)_80_15	450	10	80	15
12	R65_450(20)_80_15	450	20	80	15
13	R65_450(30)_80_15	450	30	80	15
14	R65_400(10)_80_15	400	10	80	15
15	R65_400(20)_80_15	400	20	80	15
16	R65_400(30)_80_15	400	30	80	15
17	R65_350(10)_80_15	350	10	80	15
18	R65_350(20)_80_15	350	20	80	15
19	R65_350(30)_80_15	350	30	80	15

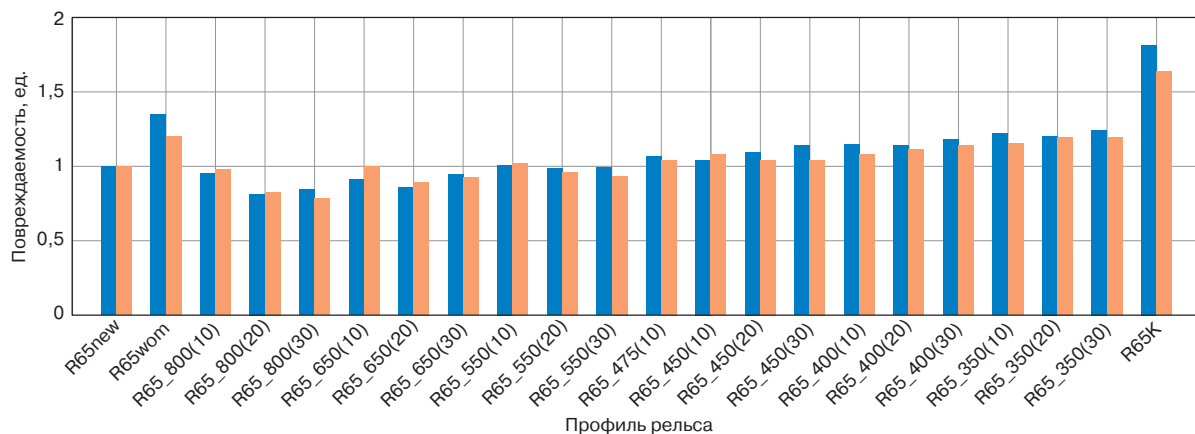


Рис. 3. Зависимость значения нормированной повреждаемости для дефектов головки рельса от различных типов профилей рельсов для колеса профиля newwagnw для прямого участка пути при скорости 60 км/ч:

■ — дефект головки правого (внутреннего) рельса; ■ — дефект головки левого (наружного) рельса

Fig. 3. Dependence of the normalised damage rate for rail head defects on different rail profile types for a newwagnw wheel profile for a straight track section at a speed of 60 km/h:

■ — defect in the right (inner) rail head; ■ — defect in the left (outer) rail head

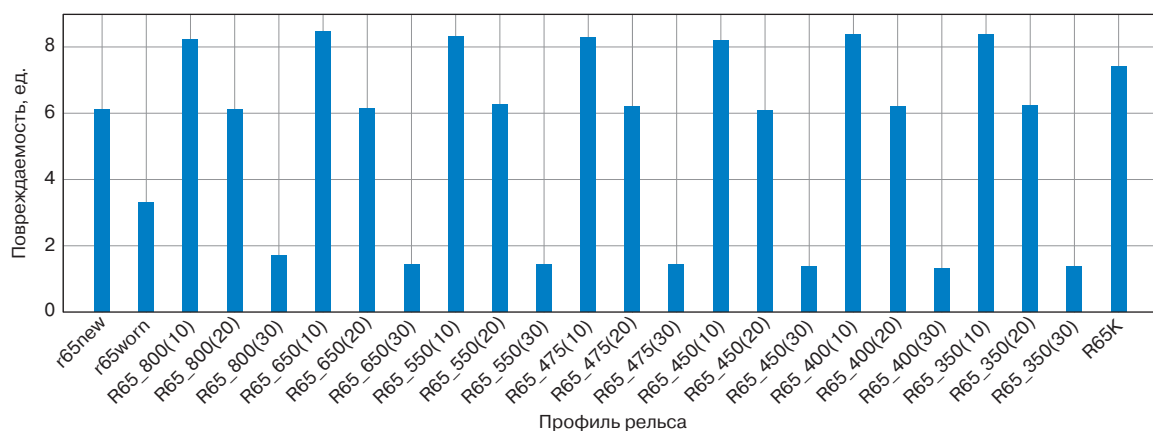


Рис. 4. Зависимость значения нормированной повреждаемости для бокового износа наружного рельса от различных типов профилей рельсов для колеса профиля wornwagnw100000km для участка пути R350 при скорости 60 км/ч

Fig. 4. Dependence of the normalised damage rate for lateral wear of the outer rail on different rail profile types for the wornwagnw100000km wheel profile for the R350 track section at 60 km/h

полученные данные были нормализованы (все полученные значения d_i были поделены на базисные значения).

За базисные значения дефектов при центрировании данных приняты значения дефектов при следующих условиях:

- дефекты поверхности катания, головки рельсов: участок пути — прямой, скорость — 60 км/ч, значение подуклонки рельсов — 0,05, профиль колеса — типовое неизношенное колесо, профиль рельса — типового неизношенный рельс Р65, коэффициент трения — 0,25, состояние пути — хорошее качество пути;

- вертикальный, боковой износы: участок пути — R1200, скорость — 60 км/ч, значение подуклонки рельсов — 0,05, непогашенное ускорение — значение, наиболее приближенное к нулю, профиль колеса —

типовое неизношенное колесо, профиль рельса — типового неизношенный рельс Р65, коэффициент трения — 0,25, состояние пути — хорошее качество пути.

По полученным нормализованным данным были построены гистограммы зависимостей значений повреждаемости для различных дефектов, типов профилей колес от различных типов профилей рельсов (рис. 3, 4, 5).

На основе полученных расчетных значений для каждого типа профиля колеса выбраны три типа профиля рельса, при которых нормализованные величины дефектов принимают минимальные значения.

Выбранные типы профилей рельсов с минимальными значениями повреждаемости дефектами поверхности катания представлены в табл. 2, износами — в табл. 3.

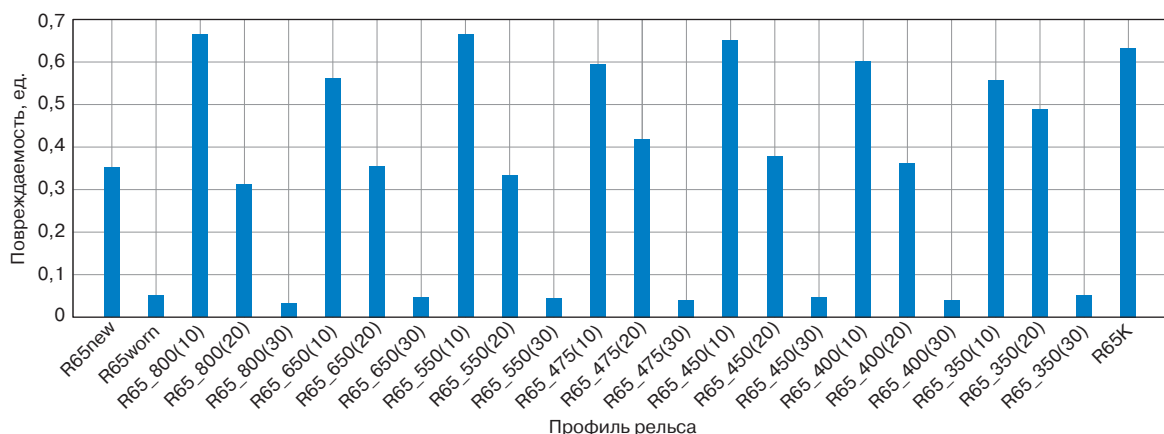


Рис. 5. Зависимость значения нормированной повреждаемости для бокового износа наружного рельса от различных типов профилей рельсов для колеса профиля wornwagnw100000km для участка пути R1200 при скорости 60 км/ч

Fig. 5. Dependence of the normalised damage rate for lateral wear of the outer rail on different rail profile types for the wornwagnw100000km wheel profile for the R1200 track section at 60 km/h

Таблица 2

Значения нормированной повреждаемости рельсов дефектами от различных сочетаний профилей колес и рельсов, ед.

Table 2

Normalised rail damage rates from defects caused by different combinations of wheel and rail profiles, units

№ п/п	Радиус	Профиль колеса	Правый (внутренний) рельс				Левый (наружный) рельс			
			Дефекты поверхности катания		Дефекты головки рельса		Дефекты поверхности катания		Дефекты головки рельса	
			Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение
1	350	newwagnw	R65_800(20)	0,742	R65_800(20)	0,641	R65_800(20)	0,704	R65worn	8,316
			R65_800(30)	0,743	R65_800(30)	0,642	R65_800(30)	0,699	R65_550(10)	8,935
			R65_650(20)	0,844	R65_650(20)	0,730	R65_650(30)	0,798	R65_400(10)	9,038
2	350	wornwagnw 100000km	R65_475(20)	1,083	R65_475(20)	0,951	R65worn	1,430	R65worn	1,671
			R65_450(20)	1,062	R65_450(20)	0,931	R65_350(20)	1,943	R65_400(30)	3,522
			R65_400(20)	1,100	R65_400(20)	0,963	R65K	1,553	R65_350(30)	3,313
3	650	newwagnw	R65_800(20)	0,775	R65_800(20)	0,689	R65_800(20)	0,697	R65worn	4,619
			R65_800(30)	0,776	R65_800(30)	0,689	R65_800(30)	0,696	R65_800(10)	5,117
			R65_650(20)	0,881	R65_650(20)	0,784	R65_650(30)	0,790	R65_650(10)	5,098
4	650	wornwagnw 100000km	R65_450(20)	1,326	R65_450(20)	1,193	R65worn	1,693	R65worn	1,517
			R65_400(20)	1,296	R65_400(20)	1,164	R65_400(20)	1,832	R65_400(30)	2,013
			R65_350(20)	1,287	R65_350(20)	1,153	R65_350(20)	1,773	R65_350(30)	2,058
5	1200	newwagnw	R65_800(20)	0,724	R65_800(20)	0,658	R65_800(20)	0,753	R65worn	2,019
			R65_800(30)	0,725	R65_800(30)	0,658	R65_800(30)	0,750	R65_800(20)	3,069
			R65_650(20)	0,823	R65_650(20)	0,749	R65_650(30)	0,852	R65_650(10)	3,048
7	1200	wornwagnw 100000km	R65_450(20)	1,353	R65_400(20)	1,165	R65_475(30)	1,857	R65_475(30)	1,562
			R65_400(20)	1,277	R65_350(20)	1,127	R65_450(30)	1,860	R65_450(30)	1,570
			R65_350(20)	1,237	R65_350(30)	1,230	R65_400(20)	1,878	R65_400(30)	1,585
8	Прямые	newwagnw	R65_800(20)	0,744	R65_800(20)	0,817	R65_800(20)	0,744	R65_800(20)	0,827
			R65_800(30)	0,743	R65_800(30)	0,841	R65_800(30)	0,744	R65_800(30)	0,787
			R65_650(30)	0,845	R65_650(20)	0,854	R65_650(30)	0,845	R65_650(20)	0,896
9	Прямые	wornwagnw 100000km	R65worn	1,372	R65worn	1,263	R65worn	1,336	R65worn	1,094
			R65_650(30)	1,664	R65_650(30)	1,530	R65_650(30)	1,644	R65_650(30)	1,344
			R65_550(30)	1,705	R65_550(30)	1,571	R65_550(30)	1,733	R65_550(30)	1,420

Таблица 3

Значения нормированной повреждаемости рельсов износом от различных сочетаний профилей колес и рельсов, ед.*

Table 3

Normalised rail damage rates from wear caused by different combinations of wheel and rail profiles, units*

№ п/п	Радиус	Профиль колеса	Правый (внутренний) рельс		Левый (наружный) рельс			
			Вертикальный износ		Вертикальный износ		Боковой износ	
			Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение
1	350	newwagnw	R65worn	20,785	R65worn	10,379	R65worn	4,545
			R65_800(10)	26,321	R65_800(10)	14,792	R65_650(30)	5,714
			R65_400(10)	27,050	R65_400(10)	14,950	R65_400(30)	5,786
2	350	wornwagnw 100000km	R65worn	17,796	R65worn	8,651	R65_450(30)	1,378
			R65_400(30)	17,746	R65_450(20)	11,375	R65_400(30)	1,354
			R65_350(30)	16,360	R65_350(30)	11,014	R65_350(30)	1,371
3	650	newwagnw	R65worn	4,483	R65worn	2,402	R65worn	1,107
			R65_550(10)	7,171	R65_550(10)	3,369	R65_800(30)	2,248
			R65K	7,155	R65_450(10)	3,391	R65_350(30)	2,242
4	650	wornwagnw 100000km	R65worn	2,835	R65worn	1,859	R65_800(30)	0,179
			R65_800(30)	3,969	R65_650(20)	2,827	R65_650(30)	0,204
			R65_650(30)	4,837	R65_550(20)	2,857	R65_550(30)	0,207
5	1200	newwagnw	R65worn	0,295	R65worn	0,327	R65worn	0,202
			R65_350(10)	0,743	R65_450(30)	0,886	R65_550(30)	0,864
			R65K	0,743	R65_350(10)	0,849	R65_450(30)	0,856
6	1200	wornwagnw 100000km	R65_550(10)	0,349	R65_550(10)	0,298	**	**
			R65_450(10)	0,345	R65_475(10)	0,303	**	**
			R65_400(10)	0,309	R65_400(10)	0,287	**	**

* Повреждаемость рельса (для рассматриваемого вида дефекта) — показатель, функционально связывающий показатели взаимодействия пути и подвижного состава и условия эксплуатации с интенсивностью образования (накопления) рассматриваемого вида дефекта. Повреждаемость является нормированной, т. е. относительной величиной, измеряемой в единицах.

** Большинство значений бокового износа в кривых равны нулю из-за отсутствия проскальзывания колес при переходе на криволинейный профиль с преимущественным одноточечным контактированием.

Из табл. 2 и 3 видно, что сочетание разных профилей колес с определенными профилями рельса дают наименьшую повреждаемость для определенных условий эксплуатации, а именно:

1. Для прямых и пологих кривых наименьшие значения дефектов поверхности катания для левого рельса обеспечивают профили рельса R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw) и R65_650(30) (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), для правого рельса — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения дефектов головки рельса для левого рельса обеспечивает профиль рельса R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw), для правого — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw).

2. Для кривых среднего радиуса наименьшие значения дефектов поверхности катания для левого рельса обеспечивают профили рельса R65_800(30)

(с профилем колеса newwagnw), для правого рельса — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw), R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw) и R65_650(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения дефектов головки рельса для левого рельса обеспечивает профиль R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), для правого — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw), R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw) и R65_650(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения вертикального износа для левого рельса обеспечивают профили R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_550(10) (с профилем колеса newwagnw), для правого рельса R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_650(30) (с профилем колеса wornwagnw100000km).

Таблица 4

Рекомендуемые параметры поверхности катания для минимизации интенсивности образования дефектов рельсов типа Р65

Table 4

Recommended tread surface parameters to minimise the defect formation intensity in R65 rails

Профиль колеса	Прямые и пологие кривые	Кривые среднего радиуса		Кривые малого радиуса	
		Внутренний рельс	Наружный рельс	Внутренний рельс	Наружный рельс
Коническое колесо по ГОСТ 10791–2011 (двухточечное контактирование)	$R_1 = 550 \div 650$ мм $d = 25 \div 30$ мм	$R_1 = 350 \div 450$ мм $d = 15 \div 25$ мм	$R_1 = 400 \div 475$ мм $d = 25 \div 30$ мм	$R_1 = 400 \div 475$ мм $d = 15 \div 25$ мм	$R_1 = 350 \div 400$ мм $d = 25 \div 30$ мм

Таблица 5

Рекомендуемые параметры поверхности катания рельса для минимизации интенсивности износов рельсов типа Р65

Table 5

Recommended rail tread surface parameters to minimise wear intensity in R65 rails

Профиль колеса	Кривые среднего радиуса		Кривые малого радиуса	
	Внутренний рельс	Наружный рельс	Внутренний рельс	Наружный рельс
Коническое колесо по ГОСТ 10791–2011 (двухточечное контактирование)	$R_1 = 650 \div 800$ мм $d = 15 \div 25$ мм	$R_1 = 550 \div 800$ мм $d = 25 \div 30$ мм	$R_1 = 350 \div 400$ мм $d = 25 \div 30$ мм	$R_1 = 350 \div 450$ мм $d = 20 \div 30$ мм

Наименьшее значение бокового износа для левого рельса обеспечивает профиль R65_800(30) (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km).

3. Для кривых малого радиуса наименьшие значения дефектов поверхности катания для левого рельса обеспечивают профили R65worn (с профилем колеса wornwagnw100000km) и R65K (с профилем колеса wornwagnw100000km), R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw), R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw), R65_650(30) (с профилем колеса newwagnw), R65_350(20) (с профилем колеса wornwagnw100000km), для правого рельса — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения дефектов головки рельса для левого рельса обеспечивает профиль R65worn (с профилем колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_400(10) (с профилем колеса newwagnw), для правого — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw), R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw), R65_650(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения вертикального износа для левого рельса обеспечивают профили R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_800(10) (с профилем колеса newwagnw), для правого рельса — R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_400(30) (с профилем колеса wornwagnw100000km), R65_350(30) (с профилем колеса wornwagnw100000km).

Наименьшее значение бокового износа для левого рельса обеспечивает профиль R65_400(30) (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km).

По полученным результатам видно, что наибольшая повторяемость по всем условиям эксплуатации без учета типа профиля колеса наблюдается у следующих профилей для правого рельса:

- для прямых и пологих кривых — R65_800(20);
- для кривых среднего радиуса — R65_800(20) и R65_650(20);
- для кривых малого радиуса — R65_800(20).

Наибольшая повторяемость по всем условиям эксплуатации наблюдается у следующих профилей для левого рельса:

- для прямых и пологих кривых — R65_800(20);
- для кривых среднего радиуса — R65worn;
- для кривых малого радиуса — R65worn.

На основании полученных данных сформированы рекомендуемые в эксплуатации параметры поверхности катания для минимизации интенсивности образования дефектов рельсов (табл. 4) и износов рельсов (табл. 5).

Схема с параметрами R_1 и d представлена на рис. 6.

Испытания, проводимые специалистами ВНИИЖТ на Восточном полигоне, показали, что при достижении тоннажа 100 млн т брутто в кривых малого радиуса на особо грузонапряженных участках пути имеет место раздавливание головки рельса и, как следствие,

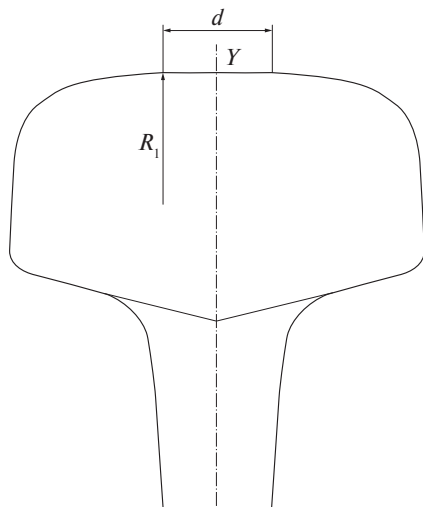


Рис. 6. Параметры контроля профиля рельса
Fig. 6. Rail profile control parameters intensity

отрицательный радиус поверхности катания головки внутренней нити (рис. 7, 8).

При своевременном шлифовании этого можно было бы избежать и обеспечить лучшее взаимодействие в системе «колесо — рельс», которое, в свою очередь, обеспечило бы снижение интенсивности износа и образования дефектов контактной усталости. Также необходимо приведение величин возвышения наружного рельса в соответствие с фактически реализуемыми скоростями движения грузовых поездов.

Для оптимизации ремонтных профилей при различных условиях эксплуатации и расширения критериев назначения шлифования рельсов в качестве параметров контроля нужно дополнительно включить основные параметры поверхности катания головки рельса: центральный радиус катания R_1 и длину дуги центрального радиуса d . В случае выявления отступлений от требований норм следует назначать плановую профильную шлифовку. Параметры поверхности катания рельса R_1 и d для составления программ шлифования в зависимости от условий эксплуатации представлены в табл. 6 и 7.

Таблица 6

Значения R_1 (мм), d (мм) для минимизации интенсивности образования дефектов рельсов

Table 6

R_1 (mm), d (mm) values to minimise rail defect formation intensity

Профиль колеса	Прямые и пологие кривые	Кривые среднего радиуса		Кривые малого радиуса	
		Внутренний рельс	Наружный рельс	Внутренний рельс	Наружный рельс
Коническое колесо по ГОСТ 10791–2011 (двухточечное контактирование)	600, 25	400, 20	435, 30	435, 20	375, 30

Таблица 7

Значения R_1 (мм), d (мм) для минимизации интенсивности износа рельсов

Table 7

R_1 (mm), d (mm) values to minimise rail wear rate

Профиль колеса	Кривые среднего радиуса		Кривые малого радиуса	
	Внутренний рельс	Наружный рельс	Внутренний рельс	Наружный рельс
Коническое колесо по ГОСТ 10791–2011 (двухточечное контактирование)	725, 20	725, 25	375, 30	375, 30

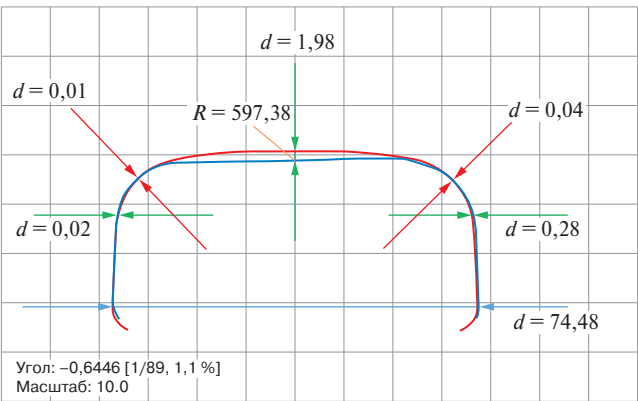


Рис. 7. Поперечный профиль головки рельса внутренней нити кривой радиуса 327 м после пропуска тоннажа 100 млн т брутто
Fig. 7. Transverse profile of the rail head of the inner thread of the curve of radius 327 m after handling a tonnage of 100 million gross tons

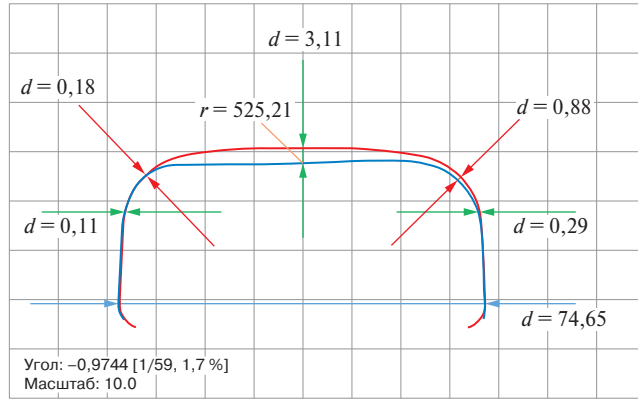


Рис. 8. Поперечный профиль головки рельса внутренней нити кривой радиуса 300 м после пропуска тоннажа 100 млн т брутто
Fig. 8. Transverse profile of the rail head of the inner thread of the curve of radius 300 m after handling a tonnage of 100 million gross tons

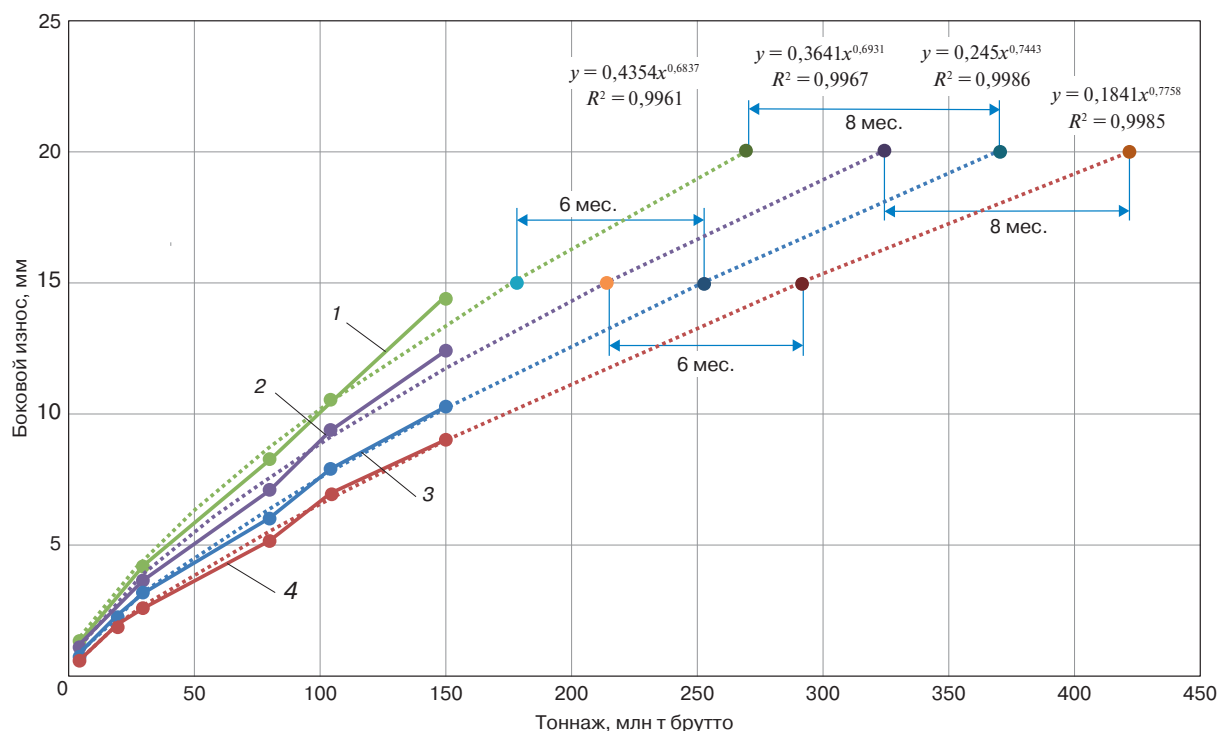


Рис. 9. Изменения бокового износа по мере роста тоннажа для кривых, где шлифование проводилось, и на участки, где шлифование не проводилось, с прогнозированием до достижения величин 15 и 20 мм:
1 — ДТ350; 2 — ДТ400; 3 — ДТ350Ш; 4 — ДТ400Ш

Fig. 9. Changes in lateral wear as tonnage increases for ground curves and on unground sections with projections until 15 and 20 mm are reached:
1 — ДТ350; 2 — ДТ400; 3 — ДТ350Sh; 4 — ДТ400Sh

Обсуждение и заключение. На основании анализа полученных данных сформулированы рекомендуемые параметры поверхности катания рельсов для минимизации интенсивности образования дефектов рельсов и интенсивности износа рельсов. Согласно проведенным расчетам для кривых малого радиуса значения нормированной повреждаемости рельсов износом в разы выше значений нормированной повреждаемости рельсов дефектами от различных сочетаний профилей колес и головки рельса. Таким образом, в случае преобладания на участке пути кривых малого радиуса рекомендуется:

для конических форм профилей колеса по ГОСТ 10791–2011 и внутреннего рельса выбирать ремонтный профиль рельса Р65 с головкой рельса радиусом в диапазоне $R_1 = 350 \div 400$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 25 \div 30$ мм, для наружного рельса — ремонтный профиль рельса Р65 с головкой радиусом в диапазоне $R_1 = 350 \div 450$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 20 \div 30$ мм.

Согласно проведенным расчетам износы и дефекты поверхности катания и головки рельса для кривых среднего радиуса одинаково влияют на повреждаемость рельсов. Таким образом, в случае преобладания на участке пути кривых среднего радиуса рекомендуется:

для конического профиля колеса по ГОСТ 10791–2011 и внутреннего рельса выбирать ремонтный профиль рельса Р65 с головкой радиусом в диапазоне $R_1 = 400 \div 450$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 15 \div 25$ мм, для наружного рельса — ремонтный профиль рельса Р65 с головкой радиусом в диапазоне $R_1 = 400 \div 475$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 25 \div 30$ мм.

Значения нормируемой повреждаемости и износа рельса для прямых и пологих кривых в большинстве случаев равны нулю. Таким образом, в случае преобладания на участке пути прямых и пологих кривых рекомендуется:

для конического профиля колеса по ГОСТ 10791–2011 по обеим нитям выбирать ремонтный профиль рельса Р65 с головкой радиусом в диапазоне $R_1 = 550 \div 650$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 25 \div 30$ мм.

Испытания рельсов ДТ400ИК и ДТ350 проводились на Забайкальской и Восточно-Сибирской дирекциях инфраструктуры в кривых малых радиусов (290–400 м) [19]. Для снижения влияния состояния пути в расчет принимались данные, собранные в круговых кривых.

На рис. 9 приведен график изменения бокового износа с разбивкой на кривые, где шлифование

проводилось с применением ремонтных профилей, и на участки, где шлифование не проводилось, с прогнозированием достижения предельных значений 15 и 20 мм по мере увеличения наработки тоннажа.

Несмотря на то, что помимо шлифования на интенсивность износа оказывают влияние и ряд других эксплуатационных факторов (лубликация, возвышение упорной нити и т. д.), графики наглядно показывают его эффективность. Так, наработка рельсов по показателю предельного бокового износа упорных нитей в кривых малых радиусов для шлифованных рельсов была на 6–8 месяцев выше, чем для нешлифованных.

Выводы. 1. Предложены ремонтные профили головок рельсов для различных условий эксплуатации с целью их применения в программах шлифования.

2. В число критериев для назначения шлифования предлагается включить основные параметры поверхности катания: центральный радиус катания R_1 и длину дуги центрального радиуса d .

3. Апробация профилей для кривых малых радиусов проводилась на Забайкальской и Восточно-Сибирской дирекциях инфраструктуры.

4. Подтверждена эффективность шлифования для снижения бокового износа наружных нитей кривых: наработка рельсов по предельному боковому износу на участках, где шлифование проводилось, и участках, где оно не проводилось, была выше на 6–8 месяцев.

5. Полученные результаты могут быть использованы при актуализации действующей нормативно-технической документации на шлифование рельсов в пути.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Высокоскоростное шлифование рельсов // Железные дороги мира. 2011. № 8. С. 62–66. EDN: <https://elibrary.ru/okkjmt>.
High-speed rail grinding. *Zheleznyye dorogi mira*. 2011;(8):62-66. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/okkjmt>.
2. Эволюция повреждаемости рельсов с дефектами контактной усталости / Е. А. Шур [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2015. № 3. С. 3–9. EDN: <https://elibrary.ru/tuvqnp>.

Shur E. A., Borts A. I., Sukhov A. V., Abdurashitov A. Yu., Bazanova L. V., Zagranichek K. L. Evolution of the contact-fatigue defects caused rail failure rate. *Russian Railway Science Journal*. 2015;(3):3-9. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tuvqnp>.

3. Омарбеков А. К. О взаимодействии колеса и рельса пассажирских вагонов компании Patentes Talgo S.A. // Устройство и содержание пути и подвижного состава при тяжеловесном и скоростном движении поездов. Колесо — рельс: сб. науч. тр. науч.-практ. конф., Москва, 28–29 октября 2008 г. М.: ВНИИЖТ, 2008. С. 80–83.

Omarbekov A. K. On the interaction between wheel and rail of passenger cars of Patentes Talgo S.A. In: *Arrangement and maintenance of track and rolling stock for heavy-weight and high-speed train traffic. Wheel – Rail: Collection of sci. papers of research to practice conf., 28–29 October 2008, Moscow*. Moscow: VNIIZhT; 2008. p. 80–83. (In Russ.).

4. Абдурашитов А. Ю. Профильное шлифование как один из факторов продления срока службы рельсов в пути // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2000. № 6. С. 28–33.

Abdurashitov A. Yu. Profile grinding as a factor of track rail service life extension. *Russian Railway Science Journal*. 2000;(6):28-33. (In Russ.).

5. Абдурашитов А. Ю. Профильное шлифование рельсов: необходим комплексный подход // Путь и путевое хозяйство. 2003. № 5. С. 2–6.

Abdurashitov A. Yu. Profile rail grinding: a comprehensive approach is required. *Railway Track and Facilities*. 2003;(5):2-6. (In Russ.).

6. Абдурашитов А. Ю. Профильное шлифование рельсов // Путь и путевое хозяйство. 2005. № 4. С. 14–20.

Abdurashitov A. Yu. Rail profile grinding. *Railway Track and Facilities*. 2005;(4):14-20. (In Russ.).

7. Абдурашитов А. Ю., Аникеева А. В. Современные технологии профильного шлифования рельсов и их эффективность // Повышение эффективности устройства и содержания железнодорожного пути: сб. тр. ученых ОАО «ВНИИЖТ». М.: ВМГ-Принт, 2014. С. 4–12. EDN: <https://elibrary.ru/vjqezt>.

Abdurashitov A. Yu., Anikeeva A. V. Modern technologies of rail profile grinding and their efficiency. In: *Improving the efficiency of rail track arrangement and maintenance: Collection of the Railway Research Institute researchers papers*. Moscow: VMG-Print Publ.; 2014. p. 4–12. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vjqezt>.

8. Крысанов Л. Г. Эффективность профильной обработки рельсов // Путь и путевое хозяйство. 1996. № 12. С. 2–6.

Krysanov L. G. Rail profile machining efficiency. *Railway Track and Facilities*. 1996;(12):2-6. (In Russ.).

9. Ильиных А. С., Матафонов А. В. Российский и зарубежный опыт эксплуатации рельсошлифовальных поездов // Наука и техника транспорта. 2014. № 3. С. 99–103. EDN: <https://elibrary.ru/smzckh>.

Il'inykh A. S., Matafonov A. V. Russian and foreign experience of rail grinding train operation. *Science and Technology in Transport*. 2014;(3):99-103. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/smzckh>.

10. Guidat A. The fundamental benefits of preventive rail grinding. *Rail Engineering International*. 1996;25(1):4-6.

11. Анализ состояния рабочей поверхности рельсов опытных партий на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» / М. Ю. Хвостик [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2018. Т. 77, № 3. С. 141–148. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-3-141-148>.

Khvostik M. Yu., Khromov I. V., Bykova O. A., Beresten' G. A. Performance analysis of the working surface of the rails from test batches on the test loop of JSC “VNIIZhT”. *Russian Railway Science Journal*. 2018;77(3):141-148. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-3-141-148>.

12. Хвостик М. Ю., Хромов И. В. Сравнение методов испытаний рельсов в эксплуатации // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 6. С. 9–12. EDN: <https://elibrary.ru/dryqbt>.

Khvostik M. Yu., Khromov I. V. Comparison of test methods for rails in operation. *Railway Track and Facilities*. 2022;(6):9-12. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/dryqbt>.

13. Хвостик М. Ю., Хромов И. В. Адаптация технологии фрезерования рельсов для применения на российских дорогах // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 2. С. 6–8. EDN: <https://elibrary.ru/jozbjo>.

Khvostik M. Yu., Khromov I. V. Adaptation of rail milling technology for application on Russian railways. *Railway Track and Facilities*. 2023;(2):6-8. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/jozbjo>.

14. Хвостик М. Ю., Хромов И. В. Адаптация технологии фрезерования рельсов для применения на российских дорогах // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 3. С. 8–10. EDN: <https://elibrary.ru/wgwklu>.

Khvostik M. Yu., Khromov I. V. Adaptation of rail milling technology for application on Russian railways. *Railway Track and Facilities*. 2023;(3):8-10. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/wgwklu>.

15. Шиладжян А. А., Хромов И. В. Испытания старогонных репрофилированных рельсов в московском метрополитене // Особенности системы ведения рельсового хозяйства на российских железных дорогах: сб. тр. ученых АО «ВНИИЖТ». М.: РАС, 2017. С. 118–126.

Шиладжян А. А., Хромов И. В. Tests of used reprofiled rails in the Moscow Metro. In: *Peculiarities of the rail maintenance system on Russian railways: Collection of the Railway Research Institute researchers papers*. Moscow: RAS Publ.; 2017. p. 118–126.

16. Орлова А. М., Савушкин Р. А., Федорова В. И. Разработка улучшенного профиля колеса для грузового вагона. Теоретическое обоснование // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2018. Т. 77, № 5. С. 269–279. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-269-279>.

Orlova A. M., Savushkin R. A., Fedorova V. I. Development of an improved wheel profile for a freight car. Theoretical justification. *Russian Railway Science Journal*. 2018;77(5):269-279. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-269-279>.

17. Орлова А. М., Савушкина Ю. В., Федорова В. И. Моделирование движения вагона и расчет износа колес с профилем поверхности катания ВНИИЖТ // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78, № 1. С. 41–47. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-41-47>.

Orlova A. M., Savushkina Yu. V., Fedorova V. I. Modelling car motion and the calculation of the wear of wheels with the VNITSTT rolling surface profile. *Russian Railway Science Journal*. 2019;78(1):41-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-41-47>.

18. Заграничек К. Л., Назаров И. В., Суслов О. А. Методика расчета ресурса верхнего строения пути. М.: ВНИИЖТ, 2023. 59 с.

Zagranichesk K. L., Nazarov I. V., Suslov O. A. Methodology for calculating the service life of the upper track structure. Moscow: VNIIZhT; 2023. 59 p.

19. Хромов И. В., Дмитриев Д. А. Результаты сравнительных эксплуатационных испытаний рельсов на износостойкость // Железная дорога: путь в будущее: сб. материалов I Междунар. науч. конф. аспирантов и молодых ученых, Москва, 28–29 апреля 2022 г.. М.: ВНИИЖТ, 2022. С. 68–74. EDN: <https://elibrary.ru/qkaff>.

Khromov I. V., Dmitriev D. A. Results of comparative rail operation tests for wear resistance. In: *Railways: A Path to the Future: A source book of the I International Scientific Conference of Postgraduate and Young Scientists, 28–29 April 2022, Moscow*. Moscow: VNIIZhT; 2022. p. 68–74. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/qkaff>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Олег Александрович СУСЛОВ,

д-р техн. наук, технический эксперт, научный центр «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д.10)

Илья Владимирович ХРОМОВ,

главный специалист, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д.10)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oleg A. SUSLOV,

Dr. Sci. (Eng.), Expert Engineer, Infrastructure Research Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.)

Ilya V. KHROMOV,

Chief Specialist, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.)

ВКЛАД АВТОРОВ

Олег Александрович СУСЛОВ. Разработка идеи и плана исследования, формирование целей и задач, планирование программы расчетов, редактирование рукописи статьи (60%).

Илья Владимирович ХРОМОВ. Подготовка данных, программирование, выполнение расчетов, анализ расчетных данных, написание статьи (40%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Oleg A. SUSLOV. Developing the research idea and plan, goal and task setting, planning the calculation programme, article manuscript editing (60%).

Ilya V. KHROMOV. Data preparation, programming, calculations, calculated data analysis, article writing (40%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 11.03.2024, рецензия от первого рецензента получена 16.04.2024, рецензия от второго рецензента получена 27.04.2024, принята к публикации 30.05.2024.

The article was submitted 11.03.2024, first review received 16.04.2024, second review received 27.04.2024, accepted for publication 30.05.2024.