

# Особенности влияния промежуточных рельсовых скреплений на эксплуатационную стойкость рельсов

Н. В. КУЗНЕЦОВА<sup>1</sup>, Е. А. СИДОРОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российская открытая академия транспорта (РОАТ) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)), Москва, 125315, Россия

<sup>2</sup>Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

**Аннотация.** Термоупрочненные рельсы типа Р65 — основной тип рельсов, применяемый на сети железных дорог ОАО «РЖД». Снижение количества дефектных и остродефектных рельсов возможно за счет рационального использования особенностей конструкций промежуточных рельсовых скреплений и их текущего содержания.

В статье приведены результаты исследования влияния жесткости промежуточных скреплений на эксплуатационную стойкость рельсов. Рассмотрена общая статистика применения различных типов промежуточных рельсовых скреплений на сети российских железных дорог. Кратко приведены основные результаты ранее опубликованных исследований о влиянии жесткости промежуточных рельсовых скреплений на накопление контактно-усталостных повреждений в рельсах.

В основе проведенных авторами расчетов накопления контактно-усталостных повреждений в рельсах лежат данные о вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости промежуточных рельсовых скреплений, полученные по результатам стендовых испытаний. Расчеты накопления контактно-усталостных повреждений производились с применением программного комплекса «Универсальный механизм». В процессе моделирования рассматривались четыре типа промежуточных рельсовых скреплений: АРС-4, ЖБР-65Ш, ЖБР-65ПШМ и W-30. Результаты расчетов были получены для кривой радиусом 650 м на бесстыковом участке пути.

**Ключевые слова:** рельсы; рельсовые скрепления; жесткость; контактно-усталостные повреждения рельсов

**Введение.** Развернутая длина главных путей ОАО «РЖД» составляет 125,8 тыс. км, в том числе на железобетонном основании порядка 100 тыс. км, из них протяженность пути с упругими рельсовыми скреплениями — более 40 %.

На рис. 1 представлены диаграммы, характеризующие протяженность пути на железобетонных шпалах с различными типами промежуточных рельсовых скреплений.

Следует отметить, что применяемые конструкции рельсовых скреплений проектировались в соответствии с требованиями ЦП 1-86 «Технические требования к промежуточным рельсовым скреплениям», на базе которых был разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 32698–2014 «Скрепление рельсовое

промежуточное железнодорожного пути. Требования безопасности и методы контроля». Эти требования не предусматривают дифференциации скреплений по условиям эксплуатации.

С учетом того что грузонапряженность и нагрузки на ось на ряде направлений (в первую очередь Восточного полигона) значительно возрастают, повышаются и требования к долговечности и технологичности обслуживания скреплений. Сферы рационального применения промежуточных рельсовых скреплений на сети железных дорог ОАО «РЖД» установлены распоряжением от 28 июня 2018 г. № 1362/р [1].

Поскольку накоплен достаточный опыт исследований скреплений, применяемых на сети железных дорог, основные усилия в настоящее время направлены именно на повышение надежности типовых конструкций скреплений на участках пути малого радиуса, разработку скреплений для высокоскоростного движения [2], а также уточнение степени влияния конструкции и состояния скреплений на элементы верхнего строения пути (в первую очередь на рельсы) для обеспечения равноресурсности конструкции пути 2,5 млрд т брутто.

Рельсовые скрепления при износе и старении прокладок, изломах подкладок, коррозии и ослаблении резьбовых соединений не обеспечивают в полной мере стабильности ширины колеи, необходимого усилия прижатия рельса к шпале и сопротивления продольному угону рельсовой плети, вследствие чего ухудшается динамика взаимодействия пути и подвижного состава. Зачастую дальнейшая эксплуатация участка пути с установленными скоростями становится недопустимой по условиям безопасности движения.

**Основные причины отказов рельсов в эксплуатации.** Наличие в пути дефектных (ДР) и остродефектных (ОДР) рельсов также приводит к ограничению скоростей движения, а при пропуске дефектов средствами диагностики — к изломам, повышению затрат на текущее содержание и ремонты пути. Возникновение контактно-усталостных дефектов (КУД) и износа зависит от совокупности факторов:

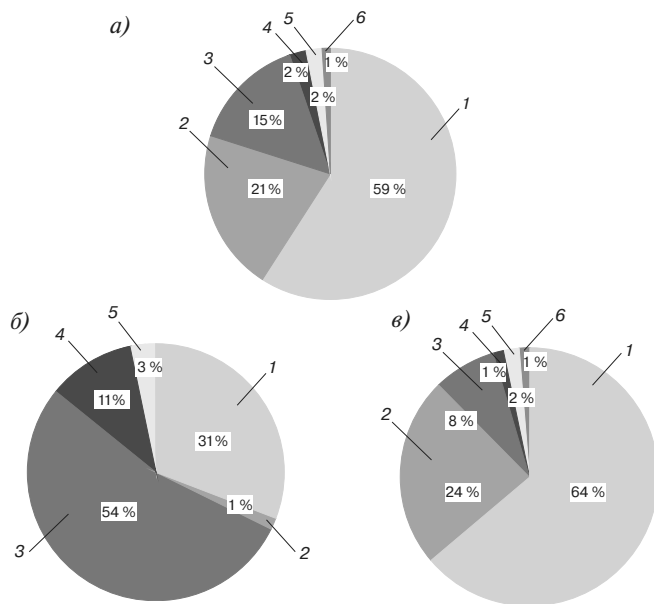


Рис. 1. Протяженность участков пути с различными типами рельсовых креплений на железобетонных шпалах (главные пути):

*а* — общая протяженность железных дорог; *б* — дороги Восточного полигона; *в* — дороги Западного полигона:

1 — КБ-65; 2 — АРС-4; 3 — ЖБР-65Ш;

4 — ЖБР-65ПШМ (П; ПШ; ПШР); 5 — W-30; 6 — ПФК-350

Примечание. Восточный полигон — Красноярская, Восточно-Сибирская, Забайкальская и Дальневосточная дирекции инфраструктуры, Западный полигон — Октябрьская и Свердловская дирекции инфраструктуры — структурные подразделения Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД».

Fig. 1. Length of track sections with different types of rail fastenings on reinforced concrete sleepers (main tracks):

*a* — total length of the railways; *б* — railways of the Eastern polygon;

*в* — railways of the Western polygon: 1 — KB-65; 2 — ARS-4;

3 — ZhBR-65Sh; 4 — ZhBR-65PShM (P; PSh; PShR); 5 — W-30;

6 — PFK-350

Note. Eastern polygon — Krasnoyarsk, East Siberian, Trans-Baikal and Far Eastern directorates of infrastructure, Western polygon — Otktyabrskaya, Sverdlovsk directorates of infrastructure — structural divisions of the Central Directorate of Infrastructure — a branch of JSC Russian Railways.

конструкции пути, радиуса кривой, уклона пути, режима торможения подвижного состава, нагрузок от колесной пары на рельс, скоростей движения.

Интенсификация условий эксплуатации пути сопровождается повышенным одиночным изъятием рельсов. При этом не только увеличивается удельный выход рельсов, но и изменяется характер преобладающих причин их повреждений. Например, на ранней стадии эксплуатации на прямых участках и в пологих кривых основным видом повреждений рельсов являются дефекты контактно-усталостного происхождения, а в кривых малого радиуса — боковой износ по упорной нити и вертикальный износ и смятие — по внутренней нити.

Таким образом, факторами, определяющими эксплуатационную стойкость рельсов, являются их контактная выносливость и износостойкость.

В общем виде величина наработки тоннажа для рельсов может быть представлена зависимостью

$$T = J_{\text{б}} P_{\text{и}} + D_{\text{КУД}} P_{\text{д}} + Q_{\text{т}} P_{\text{о}}, \quad (1)$$

где  $J_{\text{б}}$  — интенсивность износа рельсов, выраженная в наработке тоннажа до образования предельного износа,  $J_{\text{б}} = f(h_{\text{б}})$ ;  $D_{\text{КУД}}$  — наработка тоннажа до образования КУД;  $Q_{\text{т}}$  — наработка тоннажа до образования дефектов, не связанных с физико-механическими свойствами и качеством производства рельсов (дефекты от ударов, дефекты сварки и пр.);  $P_{\text{и}}$  — доля отказов, приходящаяся на износ;  $P_{\text{д}}$  — доля отказов, приходящаяся на КУД;  $P_{\text{о}}$  — доля отказов, приходящаяся на прочие дефекты.

$$P_{\text{и}} + P_{\text{д}} + P_{\text{о}} = 1. \quad (2)$$

От воздействия колес в головке рельса в месте контакта изменяется напряженное состояние, при этом возникают значительные знакопеременные напряжения, которые в зонах концентрации превышают предел выносливости рельсовой стали. После определенной наработки в этих зонах возникают внутренние продольные трещины, приводящие к изломам и отказам рельсов.

Износ рабочей поверхности головки рельса ликвидирует поверхностные контактно-усталостные трещины, не давая им развиться и стать причиной изломов и изъятий рельсов при сверхнормативных размерах трещин и выкрашивании.

**Значения вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости промежуточных креплений.** Влияние креплений в системе «колесо—рельс—рельсовое основание» следует рассматривать на фоне других системных аспектов, имеющих зачастую взаимоисключающие решения, а именно:

1) Увеличение горизонтальной поперечной жесткости рельсового крепления ведет к повышению жесткости конструкции пути в целом и возрастанию критической скорости движения, что влияет на ходовую устойчивость вагонов.

2) В кривых малого радиуса основной проблемой динамики взаимодействия пути и подвижного состава являются значительные боковые силы. Во избежание серьезных деформаций конструкции пути его горизонтальную поперечную жесткость следует увеличить. Однако недостатком такого решения является то, что его реализация может оказать вредное воздействие на поперечное динамическое взаимодействие колеса и рельса и безопасность прохождения кривых.

3) При коротких неровностях на поверхности рельса возникают ударные нагрузки с высокой и низкой частотой. В этом случае относительно малая вертикальная жесткость рельсового крепления способствует смягчению ударных нагрузок [3].

К числу важнейших теоретических вопросов относится установление оптимальной величины вертикальной статической и динамической жесткости узла крепления для определенных условий эксплуатации, а также оптимального соотношения жесткости амортизирующих прокладок и клеммы (пружинного элемента, прикрепляющего рельс к основанию).

Правильно спроектированный узел крепления должен обеспечивать заданную упругость и одновременно сохранять клеммное прижатие рельса к шпалу.

Конструкционная жесткость узла крепления определяется жесткостью прокладки-амортизатора (вертикальная) и жесткостью клеммы на контакте с рельсом (горизонтальная поперечная).

В настоящее время диапазон вертикальной жесткости применяемых конструкций креплений колеблется в пределах от 50 до 300 МН/м, а соотношение жесткостей клеммы на контакте с рельсом и амортизирующей прокладкой составляет от 1/7 до 1/20.

Нормируемый ГОСТ 32698–2014 [4] диапазон значений вертикальной жесткости узла промежуточного рельсового крепления составляет 50–150 МН/м, горизонтальной поперечной — не менее 30 МН/м.

Согласно ГОСТ 34078–2017 [5] вертикальная статическая жесткость подрельсовых прокладок-амортизаторов различного исполнения для одной и той же конструкции крепления находится в диапазоне от 50 до 150 МН/м и при климатическом старении (долговременной эксплуатации) может изменяться до 30 %, т. е. достигать 195 МН/м. При температуре  $-40^{\circ}\text{C}$  коэффициент изменения статической жесткости может достигать 4.

Результаты стендовых испытаний показывают значительные отличия значений характеристик вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости у креплений различных конструкций.

На рис. 2 и 3 представлены обобщенные результаты стендовых испытаний, проведенных АО «ВНИИЖТ» (лаборатория «Испытания материалов и конструкций» НЦ «РСТМ», заведующий лабораторией канд. техн. наук Ю. А. Базанов), по определению вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости различных конструкций креплений до и после их циклических нагружений на базе 4 млн циклов, имитирующих поездную нагрузку при наработке тоннажа 100 млн т брутто.

Наименьшую вертикальную жесткость (за счет двух прокладок — подрельсовой и нащпальной) имеет крепление КБ-65, при этом конструкция КБ значительно подвержена влиянию динамического нагружения (увеличение вертикальной жесткости в 1,7 раза при нагрузке  $P = 27$  тс).

Приложение циклической нагрузки повышает значения вертикальной жесткости в большей степе-

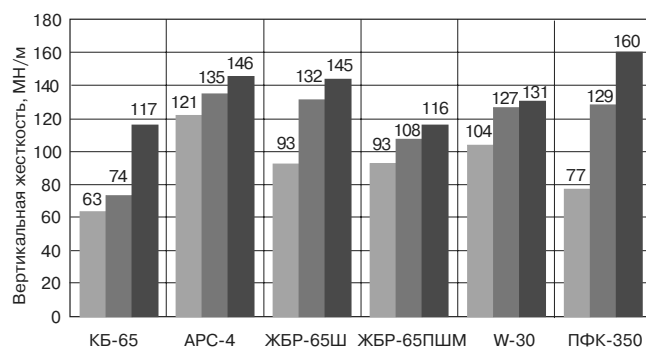


Рис. 2. Изменение вертикальной жесткости креплений при их циклических нагружениях:

■ — до циклических нагружений; ■ — нагрузка 23,5 тс; ■ — нагрузка 27 тс

Fig. 2. Change in the vertical stiffness of fasteners under its cyclic loading:

■ — before cyclic loading; ■ — load 23.5 tf; ■ — load 27 tf

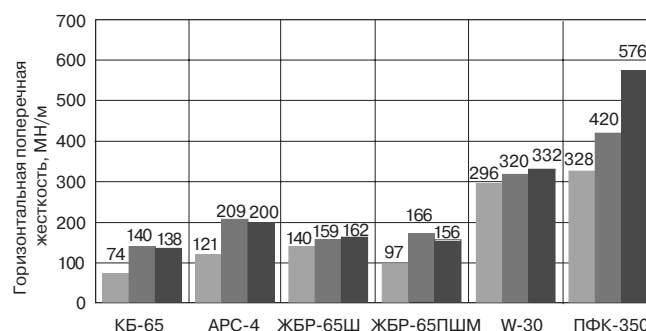


Рис. 3. Изменение горизонтальной поперечной жесткости креплений при их циклических нагружениях:

■ — до циклических нагружений; ■ — нагрузка 23,5 тс; ■ — нагрузка 27 тс

Fig. 3. Change in the horizontal transverse stiffness of fasteners under its cyclic loading:

■ — before cyclic loading; ■ — load 23.5 tf; ■ — load 27 tf

ни для бесподкладочных конструкций креплений, за счет больших остаточных деформаций (смятие и истирание) прокладки-амортизатора и релаксации клеммы соответственно на 40 и 15 % для креплений ЖБР-65Ш и ЖБР-65ПШМ при нагрузке  $P = 23,5$  тс и на 55 и 25 % при нагрузке  $P = 27$  тс.

Для крепления АРС-4 увеличение вертикальной жесткости после циклического нагружения составляет при нагрузке  $P = 23,5$  тс — 11 %, а при нагрузке  $P = 27$  тс — 20 %.

Для крепления W-30 увеличение вертикальной жесткости после циклического нагружения составляет 20 %, что обусловлено конструктивными особенностями клеммы торсионного типа, имеющей лучшие упругие характеристики по сравнению с клеммами ЖБР и АРС.

Для скрепления ПФК-350 относительное увеличение вертикальной жесткости достигает 110 %.

В целом повышение вертикальной жесткости после циклических нагружений указанных креплений обусловлено потерей упруго-эластических свойств материала подрельсовых прокладок-амортизаторов.

Наименьшее влияние циклическое динамическое нагружение оказывает на значение горизонтальной поперечной жесткости конструкции скрепления ЖБР-65Ш — относительное увеличение на 20 %; у подкладочных конструкций скреплений и АРС-4, имеющего жесткие упорные выступы анкера, — на 70–90 %. Наибольшая горизонтальная поперечная жесткость отмечается у анкерных конструкций скрепления АРС-4 (до 200 МН/м) и ПФК-350 (до 576 МН/м), а также у скрепления W-30 (332 МН/м) за счет высокого монтажного прижатия клеммами подошвы рельса.

**Влияние жесткости узла скрепления на интенсивность образования и развития контактно-усталостных повреждений рельсов.** Жесткость узла скрепления влияет на интенсивность образования и развития повреждений контактно-усталостного характера в элементах верхнего строения пути, и в первую очередь в рельсах [6, 7]. В результате исследований, проведенных ВНИИЖТ, было установлено, что двукратное снижение вертикальной жесткости в узле скрепления приводит к уменьшению контактных напряжений в рельсе и уменьшению до 40 % значений вертикальных сил, действующих на рельс [8].

Повышение статической вертикальной жесткости креплений и снижение их амортизационной способности в зимний период при повышении модуля упругости пути приводит к росту повреждаемости рельсов и ухудшению состояния балласта [9].

Этот вывод имеет особенное значение в современных условиях повышения жесткости промежуточных рельсовых креплений для увеличения их долговечности. Вероятно, при решении данного вопроса необходимо определить рациональные границы повышения вертикальной жесткости креплений.

На основании данных, содержащихся в электронной базе Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) ОАО «РЖД», авторами были сформированы совокупности одиночных изъятий термоупрочненных рельсов типа Р65 по кодам дефектов контактно-усталостного происхождения и рассчитан их удельный выход (рис. 4).

Для исследования влияния жесткости промежуточных рельсовых креплений на возникновение контактно-усталостных повреждений в рельсах использовались методы моделирования, реализованные на базе программного комплекса «Универсальный механизм» [10].

В основу создания моделей легли результаты стендовых испытаний по определению вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости различных конструкций рельсовых креплений, проведенных АО «ВНИИЖТ». Для исследования были выбраны четыре типа креплений: АРС-4, ЖБР-65Ш, ЖБР-65ПШМ, W-30.

Расчет накопленных повреждений осуществлялся в узлах конечно-элементной сетки фрагмента рельса. При этом в расчете принималось, что в каждый момент времени приращение поврежденности не зависит от накопленной поврежденности. В этом случае контактно-усталостная поврежденность, накопленная в  $i$ -м узле конечно-элементной сетки, определялась по формуле [11]:

$$Q = \sum_{j=1}^n \frac{1}{N_i(j)}, \quad (3)$$

где  $N_i(j)$  — число циклов до появления выкрашивания усталостного характера;  $n$  — число циклов нагружения.

При этом в случае  $Q=1$  наступает начало разрушения рельса, другими словами, возникновение выкрашивания рельсов.

В рамках выполнения исследований были также проведены расчеты накопления контактно-усталостных повреждений рельсов на участке пути, содержащем кривую радиусом 650 м. Геометрия кривой обеспечивала движение грузового вагона с нагрузкой 23,5 тс на ось и скоростью 60 км/ч с непогашенным ускорением, близким к нулю (возвышение наружного рельса в кривой составляло 70 мм). При этом рассматривалось накопление контактно-усталостных повреждений в бесстыковой зоне.

Отдельно рассматривалось начало возникновения контактно-усталостных повреждений (выкрашивания) для рельсов, лежащих в кривой, на новых промежуточных рельсовых креплении и креплении, находящихся в эксплуатации.

Для рельсов на новых рельсовых креплении, уложенных в кривой радиусом 650 м, первые повреждения, согласно результатам расчетов, на креплении ЖБР-65Ш наступают позже, чем на других типах креплений (рис. 5).

Надо отметить, что производимая методами имитационного моделирования оценка накопления повреждений в рельсах носит по большей части качественный характер. Это обусловлено принятыми допущениями в моделях накопления повреждений и моделях, описывающих характеристики креплений.

Наибольшее накопленное повреждение было зарегистрировано на рельсах, лежащих в кривой на новых креплении АРС-4. Причем при анализе результатов расчетов накопления контактно-усталостных повреждений рельсов в кривой радиусом 650 м на креплении, находящихся в эксплуатации, значения накопленных

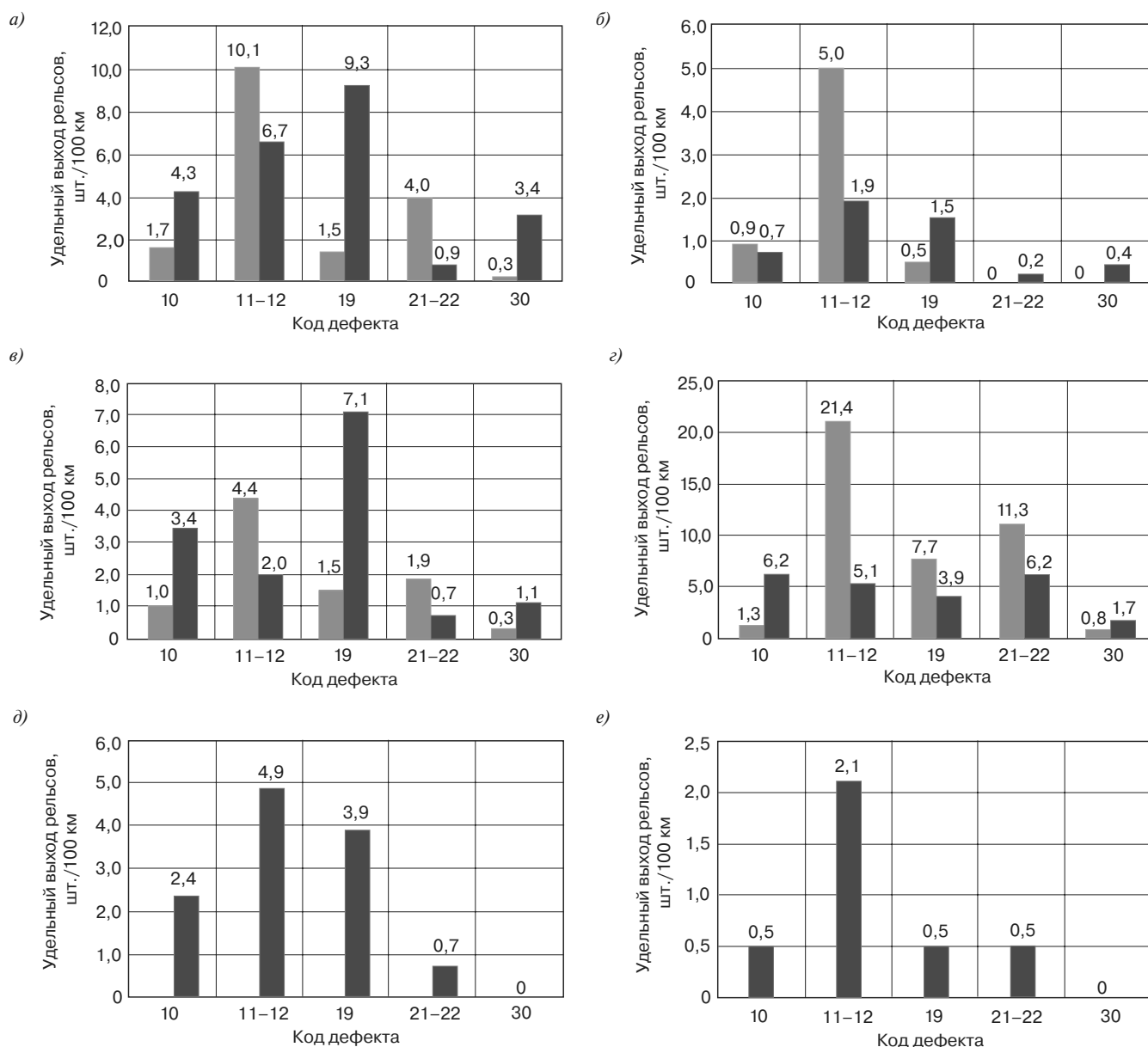


Рис. 4. Удельный выход рельсов на скреплениях различных конструкций:

а — KB-65: ■ — Восточный полигон; ■ — Западный полигон; б — APC-4: ■ — Восточный полигон; ■ — Западный полигон; в — ЖБР-65Ш: ■ — Восточный полигон; ■ — Западный полигон; г — ЖБР-65 ПШМ (П, ПШ, ПШР): ■ — Восточный полигон; ■ — Западный полигон; д — W-30: ■ — Западный полигон; е — ПФК-350: ■ — Западный полигон

Fig. 4. Specific rail shifts on fasteners of various designs:

а — KB-65: ■ — Eastern polygon; ■ — Western polygon; б — ARS-4: ■ — Eastern polygon; ■ — Western polygon; в — ZhBR-65Sh: ■ — Eastern polygon; ■ — Western polygon; г — ZhBR-65 PShM (P, PSh, PShR): ■ — Eastern polygon; ■ — Western polygon; д — W-30: ■ — Western polygon; е — PFK-350: ■ — Western polygon

повреждений для скреплений APC-4 демонстрировали гораздо более интенсивный рост, чем для других скреплений (рис. 6). Такой результат может свидетельствовать о наличии рисков роста контактно-усталостных повреждений в рельсах с такими скреплениями, лежащих в кривых радиусом 650 м и менее, на грузовых линиях, после пропуска тоннажа 100 млн т брутто.

При этом из рис. 6 видно, что накопление повреждений рельсов в кривых радиусом 650 м после

пропуска 100 млн т брутто начинается позже всего на скреплениях W-30.

Таким образом, результаты расчетов подтверждают целесообразность существующей сферы применения скреплений APC-4 и позволяют предположить возможность расширения сферы рационального применения скреплений W-30.

Другим важным параметром рельсовых скреплений является их жесткость на изгиб. Современные

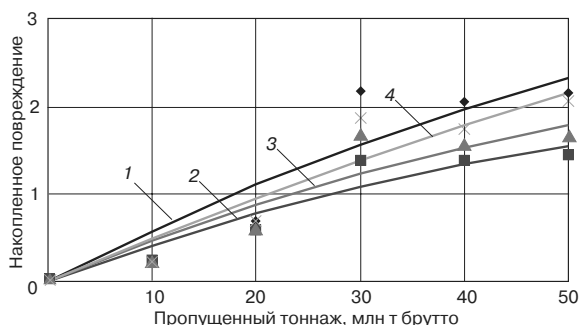


Рис. 5. Накопление повреждений рельсов в кривой  $R=650$  м на новых креплениях:  
1 — APC-4; 2 — ЖБР-65Ш; 3 — ЖБР-65ПШМ; 4 — W-30  
Fig. 5. Accumulation of rail damage in the curve  $R=650$  m on new fastenings:  
1 — ARS-4; 2 — ZhBR-65Sh; 3 — ZhBR-65PSHM; 4 — W-30

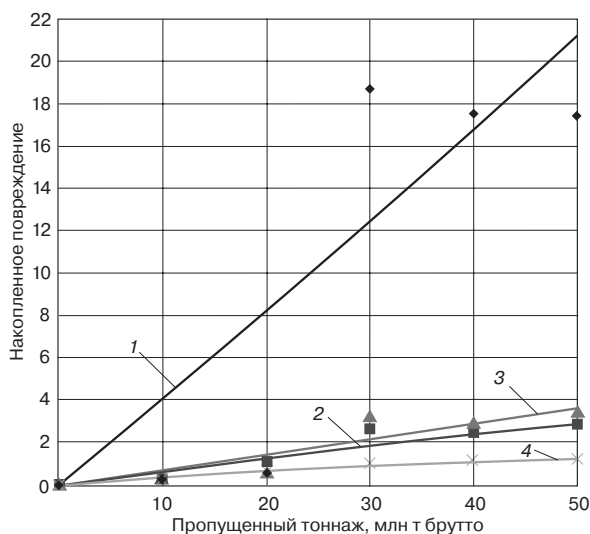


Рис. 6. Накопление повреждений рельсов в кривой  $R=650$  м на креплениях, находящихся в эксплуатации:  
1 — APC-4; 2 — ЖБР-65Ш; 3 — ЖБР-65ПШМ; 4 — W-30  
Fig. 6. Accumulation of rail damage in the curve  $R=650$  m on fastenings in operation:  
1 — ARS-4; 2 — ZhBR-65Sh; 3 — ZhBR-65PSHM; 4 — W-30

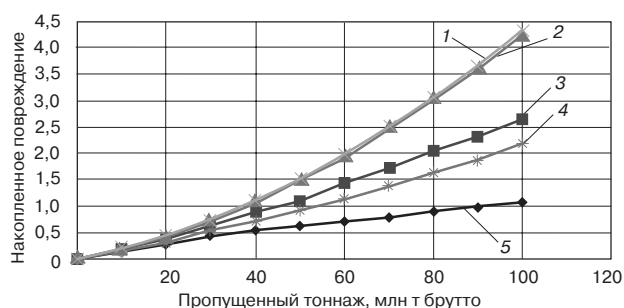


Рис. 7. Влияние изгибной жесткости креплений ЖБР-65Ш на накопление контактно-усталостных повреждений:  
1 — изгибная жесткость 0,07 МН·м/рад; 2 — изгибная жесткость 0,13 МН·м/рад; 3 — изгибная жесткость 0,2 МН·м/рад; 4 — изгибная жесткость 2,5 МН·м/рад; 5 — изгибная жесткость 5 МН·м/рад  
Fig. 7. Influence of bending stiffness of ZhBR-65Sh fasteners on the accumulation of contact-fatigue damage:  
1 — bending stiffness 0.07 MN·m/rad; 2 — bending stiffness 0.13 MN·m/rad; 3 — bending stiffness 0.2 MN·m/rad; 4 — bending stiffness 2.5 MN·m/rad; 5 — bending stiffness 5 MN·m/rad

отечественные нормативные документы не нормируют изгибную жесткость креплений, хотя в зарубежной практике этот параметр имеет свои нормативные значения.

В рамках выполненной работы были проведены расчеты по установлению влияния изменения изгибной жесткости креплений на контактно-усталостные повреждения рельсов. На рис. 7 представлены зависимости накопления контактно-усталостных повреждений в рельсах от пропущенного тоннажа при различной изгибной жесткости креплений ЖБР-65Ш. Расчеты показывают, что снижение изгибной жесткости ведет к заметному росту контактно-усталостных повреждений в рельсах.

Наибольший рост контактно-усталостных повреждений был зарегистрирован при изгибной жесткости, равной 0,07 и 0,13 МН·м/рад. В [12] указано, что такая изгибная жесткость соответствует затяжке шурупов крепления ЖБР-65Ш до 50–100 Н·м, что является существенным ослаблением по сравнению с нормативной затяжкой, равной 250 Н·м.

Зависимость максимальной накопленной контактно-усталостной поврежденности рельсов от изгибной жесткости рельсовых креплений ЖБР-65Ш при пропущенном тоннаже 100 млн т brutto представлена на рис. 8.

Из рисунка видно, что имеет место влияние величины изгибной жесткости промежуточных рельсовых креплений на интенсивность накопления контактно-усталостных повреждений в рельсах. Согласно расчетам при уменьшении изгибной жесткости креплений контактно-усталостные повреждения в рельсах увеличиваются, причем интенсивность их роста становится больше после преодоления значений изгибной жесткости в 1 МН·м/рад.

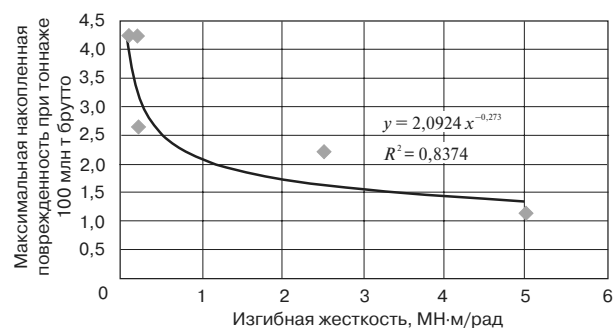


Рис. 8. Зависимость максимальной накопленной контактно-усталостной поврежденности рельсов от изгибной жесткости рельсовых креплений ЖБР-65Ш при пропущенном тоннаже 100 млн т brutto:  $y$  — максимальная накопленная поврежденность;  $x$  — изгибная жесткость;  $R^2$  — коэффициент детерминации  
Fig. 8. Dependence of the maximum accumulated contact-fatigue damage of rails on the bending stiffness of rail fasteners ZhBR-65Sh with a passed tonnage of 100 million gross tons:  
 $y$  — maximum accumulated damage;  $x$  — bending stiffness;  $R^2$  — coefficient of determination

**Заключение.** Результаты выполненных исследований позволяют сделать вывод, что влияние на эксплуатационные причины возникновения и развития дефектов в рельсах и снижение количества ДР и ОДР возможно за счет рационального использования промежуточных рельсовых скреплений и оптимизации значений основных характеристик их конструкции. В частности, тенденция к повышению работоспособности промежуточных рельсовых скреплений за счет роста их вертикальной жесткости должна основываться на оптимальных значениях вертикальной жесткости, превышение которых ведет к снижению срока службы рельсов.

В результате моделирования было установлено, что наименьшие значения накопленных контактно-усталостных повреждений рельсов в кривой радиусом 650 м наблюдаются для скреплений ЖБР-65Ш и W-30. Результаты расчетов подтверждена существующая сфера применения скреплений APC-4 и отмечена возможность расширения сферы рационального применения скреплений W-30 за счет их использования в кривых радиусом до 650 м.

Влияние на процесс накопления контактно-усталостных повреждений в рельсах изгибной жесткости рельсовых скреплений по результатам расчетов является значительным, по этой причине целесообразно дополнить нормативную базу рельсовых скреплений параметром их изгибной жесткости, в том числе национальный стандарт ГОСТ Р 59428–2021 «Скрепление рельсовое промежуточное железнодорожного пути. Общие технические условия», который вводится в действие в сентябре 2021 г. В целом развитие стандартов в области промежуточных рельсовых скреплений должно учитывать жесткость скреплений на кручение и динамическую жесткость, как это реализовано в европейских стандартах.

Необходима переработка существующих сфер рационального применения промежуточных рельсовых скреплений на сети дорог ОАО «РЖД» на основании результатов расчетов, а также стендовых и эксплуатационных испытаний скреплений различных конструкций, проведенных за последние пять лет.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О сферах рационального применения промежуточных рельсовых скреплений и унификации вариантов комплектации ими железобетонных шпал [Электронный ресурс]: распоряжение ОАО «РЖД» от 28 июня 2018 г. № 1362/р // АСПИЖТ (дата обращения: 13.06.2021 г.).

2. Косарев А. Б., Назаров О. Н. Научная поддержка развития высокоскоростного движения // Железнодорожный транспорт. 2008. № 4. С. 23–26.

3. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием системы колесо—рельс / пер. с англ. под ред. С. М. Захарова. М.: Интекст, 2017. 420 с.

4. ГОСТ 32698–2014. Скрепление рельсовое промежуточное железнодорожного пути. Требования безопасности и методы контроля: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 августа 2014 г. № 932-ст: дата введения 2015-03-01. М.: Стандартинформ, 2017. 10 с.

5. ГОСТ 34078–2017. Прокладки рельсовых скреплений железнодорожного пути. Технические условия: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2017 г. № 607-ст: дата введения 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2017. 26 с.

6. Ilias H. The influence of railpad stiffness on wheelset/track interaction and corrugation growth // Journal of Sound and Vibration. 1999. Vol. 227 (5). P. 935–948. DOI: <https://doi.org/10.1006/jsvi.1999.2059>.

7. Egana J. I., Vinolas J., Seco M. Investigation of the influence of rail pad stiffness on rail corrugation on a transit system // Wear. 2006. Vol. 261 (2). P. 216–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.10.004>.

8. Купцов В. В., Грановский А. Н. Уточнение оптимального значения вертикальной жесткости узла рельсовых скреплений на пути с железобетонными шпалами // Труды ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1979. Вып. 616. С. 40–46.

9. Купцов В. В. Универсальное рельсовое скрепление БПУ для железобетонных шпал // Совершенствование конструкции и эксплуатация бесстыкового пути: сб. тр. ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1988. С. 129–135.

10. Захаров С. М., Торская Е. В. Подходы к моделированию возникновения поверхностных контактно-усталостных повреждений в рельсах // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т. 77. № 5. С. 259–268. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-259-268>.

11. Computer modelling of process of accumulation of rolling contact fatigue damage in railway wheels / V. Sakalo [et al.] // International Journal of Fatigue. 2018. Vol. 111. P. 7–15.

12. Лебедев А. В. Зависимость устойчивости бесстыкового пути от типов промежуточных рельсовых скреплений и условий их эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. М., 2007. 117 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**КУЗНЕЦОВА Наталья Владимировна,**

старший преподаватель, кафедра «Транспортное строительство», РОАТ ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

**СИДОРОВА Елена Анатольевна,**

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

Статья поступила в редакцию 21.06.2021 г., принята к публикации 05.07.2021 г.

**Для цитирования:** Кузнецова Н. В., Сидорова Е. А. Особенности влияния промежуточных рельсовых скреплений на эксплуатационную стойкость рельсов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 4. С. 201–208. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-201-208>.

## Features of the influence of intermediate rail fastenings on the operational durability of rails

N. V. KUZNETSOVA<sup>1</sup>, E. A. SIDOROVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian Open Academy of Transport (ROAT) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (FGAOU VO "RUT" (MIIT)), Moscow, 125315, Russia

<sup>2</sup>Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

**Abstract.** Heat-strengthened rails of the R65 type are the main type of rails used on the railway network of Russian Railways. Reducing the number of cropped and acutely defective rails is possible due to the rational use of the design features of intermediate rail fasteners and their current content.

The article presents study results of the stiffness influence of intermediate fasteners on the operational durability of rails. The general statistics of the use of various types of intermediate rail fastenings on the network of Russian railways is considered. The main results of previously published studies on the effect of the stiffness of intermediate rail fasteners on the accumulation of contact fatigue damage in rails are briefly presented.

Calculations of the accumulation of contact-fatigue damages in rails, carried out by the authors, are based on the data on the vertical and horizontal transverse stiffness of intermediate rail fastenings obtained from the results of bench tests. Calculations of the accumulation of contact-fatigue damage were carried out using the "Universal Mechanism" software package. In the process of modeling, four types of intermediate rail fasteners were considered: ARS-4, ZhBR-65Sh, ZhBR-65PShM and W-30. Calculation results were obtained for a curve with a radius of 650 m on a continuous welded track section.

**Keywords:** rails; rail fasteners; stiffness; rail contact fatigue damage

**DOI:** <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-201-208>

### REFERENCES

1. *On the areas of rational use of intermediate rail fastenings and unification of options for completing reinforced concrete sleepers with them.* Order of the JSC Russian Railways dated June 28, 2018 No. 1362/r. ASPIZHT (retrieved on 13.06.2021) (in Russ.).
2. Kosarev A. B., Nazarov O. N. *Nauchnaya podderzhka razvitiya vysokoskorostnogo dvizheniya* [Scientific support for the development of high-speed traffic]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2008, no. 4, pp. 23–26.
3. *Generalization of the world experience of heavy haul traffic. Maintenance management of the wheel/rail system.* Transl. from English by S. M. Zakharov. Moscow, Intext Publ., 2017, 420 p.
4. GOST 32698–2014. *Rail fastening. Safety requirements and methods of control.* Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated August 22, 2014 No. 932-st. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 10 p. (in Russ.).
5. GOST 34078–2017. *Rail fasteners pads of railway. Specifications.* Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical

Regulation and Metrology dated June 29, 2017 No. 607-st. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 26 p. (in Russ.).

6. Ilias H. *The influence of railpad stiffness on wheelset/track interaction and corrugation growth.* *Journal of Sound and Vibration*, 1999, Vol. 227 (5), pp. 935–948. DOI: <https://doi.org/10.1006/jsvi.1999.2059>.

7. Egana J. I., Vinolas J., Seco M. *Investigation of the influence of rail pad stiffness on rail corrugation on a transit system.* *Wear*, 2006, Vol. 261 (2), pp. 216–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.10.004>.

8. Kuptsov V. V., Granovskiy A. N. *Utochnenie optimal'nogo znacheniya vertikal'noy zhestkosti uzla rel'sovykh skreplenykh na puti s zhelezobetonnyimi shpalami.* *Trudy VNIIZHT* [Clarification of the optimal value of the vertical stiffness of the rail fastening unit on the track with reinforced concrete sleepers. Proceedings of VNIIZHT]. Moscow, Transport Publ., 1979, Issue 616, pp. 40–46.

9. Kuptsov V. V. *Universal'noe rel'sovoe skreplenie BPU dlya zhelezobetonnykh shpal* [Universal rail fastening of BPU for reinforced concrete sleepers]. *Sovershenstvovanie konstruktivnoy i ekspluatatsionnoy besstykovogo puti.* Sb. tr. VNIIZHT [Improvement of the design and operation of continuous welded track. Coll. of works of VNIIZHT]. Moscow, Transport Publ., 1988, pp. 129–135.

10. Zakharov S. M., Torskaya E. V. *Podkhody k modelirovaniyu vozniknoveniya poverkhnostnykh kontaktno-ustalostnykh povrezhdeniy v rel'sakh* [Approaches to modeling the occurrence of surface contact-fatigue damage in rails]. *Vestnik VNIIZHT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2018, Vol. 77, no. 5, pp. 259–268.

11. Sakalo V., Sakalo A., Tomashevskiy S., Kerentcev D. *Computer modelling of process of accumulation of rolling contact fatigue damage in railway wheels.* *International Journal of Fatigue*, 2018, Vol. 111, pp. 7–15.

12. Lebedev A. V. *Zavisimost' ustoychivosti besstykovogo puti ot tipov promezhutochnykh rel'sovykh skreplenykh i usloviy ikh ekspluatatsii. Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Dependence of the stability of the continuous welded track on the types of intermediate rail fastenings and the conditions of its operation. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2007, 117 p.

### ABOUT THE AUTHORS

**Natal'ya V. KUZNETSOVA,**

Senior Lecturer, Department "Transport Construction", ROAT FGAOU VO "RUT" (MIIT)

**Elena A. SIDOROVA,**

Cand. Sci. (Eng.), Scientific Center "Track Infrastructure and Issues of Wheel-Rail Interaction", JSC "VNIIZHT"

Received 21.06.2021

Accepted 05.07.2021

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

**For citation:** Kuznetsova N. V., Sidorova E. A. Features of the influence of intermediate rail fastenings on the operational durability of rails // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (4): 201–208 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-201-208>.