

Методика оценки работоспособности бесстыкового пути по критерию соответствия действительной температуры закрепления рельса нормируемому значению

Г. М. ВОЛОХОВ, С. В. ЧУНИН, А. В. УШАНОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКИ»), Коломна, 140402, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема оценки безопасности эксплуатации бесстыкового пути. Проведен сравнительный анализ действующих методов оценки и предложена методика выявления опасных участков пути по критерию соответствия действительной температуры закрепления рельса нормативной. Под действительной температурой закрепления в статье принимается та температура рельса, при которой в нем в результате его температурного расширения или сужения образуется нулевое значение продольной силы. Приведен способ расчета действительной температуры закрепления рельса с использованием зависимости собственной частоты колебаний рельса от приложенной к нему продольной силы, которая получена расчетным методом с использованием созданной авторами конечно-элементной модели участка пути с помощью проведения модального расчета при различных значениях продольной силы, приложенной к рельсу. Выполнена ее верификация по экспериментальным данным, полученным в результате проведения испытаний на специализированном стенде. Описывается методика проведенных испытаний на стенде и участке бесстыкового пути Озерской ветки Московской железной дороги, заключающаяся в определении собственной частоты первой формы колебаний рельса при различных значениях продольной силы, а в случае полигонных испытаний — при различных значениях температуры рельсов. Приведен расчет действительной температуры закрепления рельса на примере участка бесстыкового пути Озерской ветки Московской железной дороги. Установлено, что температура закрепления рельсов на исследуемом участке соответствует нормативной для данного региона.

Ключевые слова: локомотив; моторвагонный подвижной состав; кузов; рама тележки; прочность; динамико-прочностные испытания

Введение. На сети железных дорог ОАО «РЖД» все более широко применяется бесстыковой путь, имеющий множество преимуществ перед звеньевым. Однако и он не лишен недостатков, одним из которых является контроль продольного напряжения в рельсе, возникающего при его температурном удлинении. Эксплуатация пути, продольные силы сжатия рельсов которого превышают допустимое значение, может привести к выбросу пути и, следовательно, сходу подвижного состава

с рельсов, который может сопровождаться человеческими жертвами и значительным экономическим ущербом. Таким образом, контроль температурного режима работы рельсовой плети бесстыкового пути является одной из наиболее важных задач по обеспечению безопасности движения.

Цель исследования — повышение безопасности эксплуатации бесстыкового железнодорожного пути на основе разработки методики своевременного обнаружения участков пути с недопустимыми значениями продольного напряжения по критерию устойчивости при сравнительной оценке действительной температуры закрепления рельса и допустимой в данном регионе по инструкции.

Обзор проведенных работ. Для оценки безопасности эксплуатации бесстыкового пути на железных дорогах были поставлены специальные эксперименты по исследованию влияния конструкций пути и условий его содержания на процессы возникновения и развития выбросов пути и определения влияния различных эксплуатационных и конструктивных факторов на значения максимально допустимой температуры плетей относительно температуры закрепления, превышение которой приводит к выбросам пути.

Наиболее полный многосторонний комплекс таких опытов был проведен лабораторией бесстыкового пути Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта МПС (ВНИИЖТ) под руководством канд. техн. наук, доцента Е. М. Бромберга. Результаты значительной части этих опытов были опубликованы в трудах ВНИИЖТ [1–4].

В этих исследованиях, в частности, было приведено сопоставление результатов опытов с результатами расчетов устойчивости при использовании различных методов. Более подробно методы оценки устойчивости бесстыкового пути, их преимущества и недостатки будут рассмотрены далее.

Результаты, полученные опытным путем, отличались от выводов, сделанных С. П. Першиным на основе энергетической модели бесстыкового пути [5].

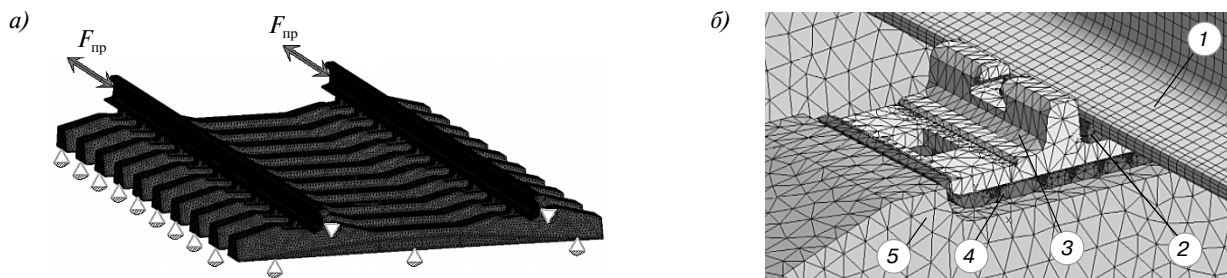


Рис. 1. Модель участка пути:

a — схема закрепления и нагружения: $F_{пр}$ — продольная сила; *b* — устройство скрепления: 1 — рельс Р65; 2 — прокладка ЦП143-1; 3 — подкладка КБ65; 4 — прокладка ЦП328; 5 — шпала Ш1

Fig. 1. Model of the track section:

a — fixing and loading scheme: $F_{пр}$ — longitudinal force; *b* — fastening device: 1 — R65 rail; 2 — pad TsP143-1; 3 — KB65 lining; 4 — pad TsP328; 5 — sleeper Sh1

Поэтому было принято решение при разработке первых «Временных технических указаний по укладке и эксплуатации температурно-напряженного пути без периодической (сезонной) разрядки напряжений» целиком опираться только на результаты прямых экспериментов, выполненных на стенде ВНИИЖТ. Это для времени, когда происходил процесс становления бесстыкового пути в России, было наиболее правильным решением [6].

Описание проблемы. В настоящее время устройство, укладка, содержание и ремонт бесстыкового пути определены распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 г. № 2544р [7], однако методы контроля напряженного состояния рельса в процессе эксплуатации в нем не оговорены. Безопасность эксплуатации пути устанавливается посредством оценки перемещения метки, нанесенной на рельс, относительно «маячной» шпалы. Такой подход имеет значительное количество недостатков, в том числе оперативность и точность обнаружения опасных участков.

Известна программа комплексного анализа предотказного состояния бесстыкового пути «УРРАН» разработки НПЦ «Инфотранс», решающая множество задач по мониторингу состояния пути, в том числе задачу контроля температурного режима работы рельсовых плетей [8]. Тем не менее этот контроль обеспечивается за счет оценки данных, получаемых с помощью систем видеоконтроля о подвижках рельсовых плетей относительно «маячных» шпал.

Также существует система беспроводного контроля «СКБП-2009» разработки ООО «Строй-Сервис», которая позволяет проводить измерение механических напряжений в рельсовой плети [9]. Для этого необходимо провести установку на рельс специального датчика, а значит, при увеличении протяженности исследуемого пути существенно возрастает необходимое количество датчиков, что приводит к усложнению и удорожанию данного метода.

Повышение безопасности движения. Непременным условием повышения безопасности движения является своевременное обнаружение опасных участков бесстыкового пути. Для этого предлагается использовать метод, суть которого в определении действительной температуры закрепления рельса, т. е. такой температуры, при которой в рельсе посредством его температурного удлинения или сужения образуется нулевое значение продольной силы; сравнении полученной температуры с нормируемыми значениями температуры закрепления для каждой дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» по [7].

Определение значений действительной температуры закрепления рельса предлагается проводить путем оценки действующих продольных напряжений в рельсе, образующихся при его температурном удлинении.

В АО «ВНИКТИ» был предложен метод определения напряженно-деформированного состояния различных упругих объектов, суть которого заключается в оценке напряжений по изменениям собственных частот колебаний и который применим в том числе для рельсов бесстыкового пути [10]. При использовании указанного метода решение поставленной задачи определения действительной температуры сводится к следующему:

- нахождению расчетным способом зависимости собственной частоты колебаний рельса от величины продольной силы;
- определению собственной частоты колебаний и температуры рельса в текущий момент;
- определению по полученной зависимости действующей в рельсе продольной силы;
- определению действительной температуры закрепления рельса;
- оценке безопасности эксплуатации пути по нормируемым значениям температуры закрепления рельсовой плети в данном регионе.

Для того чтобы определить зависимость собственной частоты колебаний от продольной силы расчетным путем, была создана конечно-элементная мо-

дель участка пути (рис. 1). Модель включает в себя 1 138 200 элементов и 506 086 узлов.

Основными техническими данными модели участка пути являются следующие:

- 10 шпал Ш1 с эпюрой 1840 шт./км [11];
- подкладка КБ65 [12];
- прокладки ЦП328 и ЦП143-1 [13];
- рельс Р65 [14].

Все элементы участка пути смоделированы как упругие тела, их характеристики выбраны по технической документации [11–14].

Закрепление (ограничение перемещения в вертикальном направлении) модели (рис. 1, а) производилось через подошву шпал. Нагрузку прикладывали к торцам рельсов.

В результате проведенного модального анализа получено, что для первой формы собственная частота колебаний рельса составляет 152 Гц (рис. 2).

Аналогично был проведен модальный анализ при условии предварительного ступенчатого нагружения рельса продольными силами растяжения и сжатия до 200 кН, при этом шаг изменения нагрузки составил 20 кН. Предельные значения нагрузки выбраны исходя из прочности стэнда, необходимого для дальнейшей верификации модели. Полученные значения собственной частоты первой формы колебаний при разных величинах продольной силы показаны на рис. 3.

Для верификации полученной зависимости был проведен натурный эксперимент на специализированном испытательном стэнде, представляющем собой рельсошпальную решетку, аналогичную по конструкции использованной в конечно-элементной модели и закрепленную с одной стороны за торцы рельс, а с противоположной стороны имеющую устройство нагружения, которое позволяет создавать силы растяжения и сжатия до 200 кН (рис. 4) [15].

Для регистрации собственных колебаний рельса стэнд был оборудован пьезоэлектрическими вибропреобразователями, которые устанавливались на головку рельса (рис. 5) и регистрировали колебания в поперечном относительно пути направлении. Собственные колебания рельса возбуждались путем нанесения по головке рельса ударов молотком в поперечном направлении.

Результаты проведенного эксперимента показаны на рис. 6 в виде трехмерного представления спектров собственных колебаний рельса.

При анализе результатов была получена зависимость собственной частоты первой формы колебаний рельса от величины продольной силы. При этом для оценки адекватности разработанной расчетной модели участка пути вычислен коэффициент корреляции двух зависимостей, полученных расчетным методом

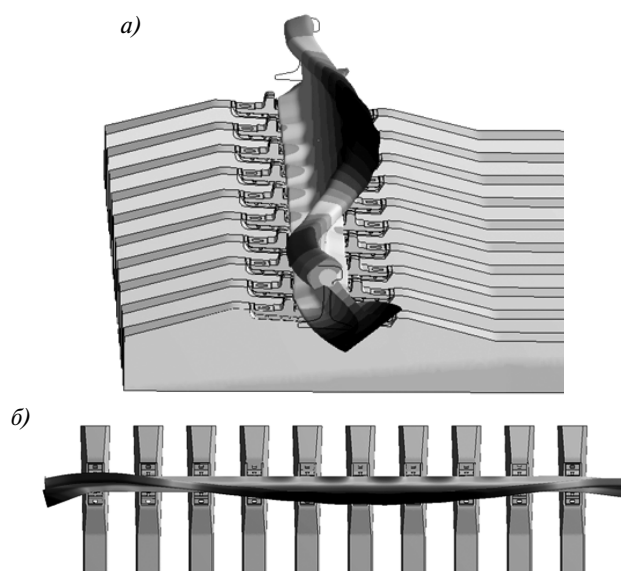


Рис. 2. Первая форма колебаний рельса с собственной частотой 152 Гц:

а — вид с торца рельса; б — вид сверху

Fig. 2. First form of rail vibration with a natural frequency of 152 Hz:

а — view from the end of the rail; б — top view

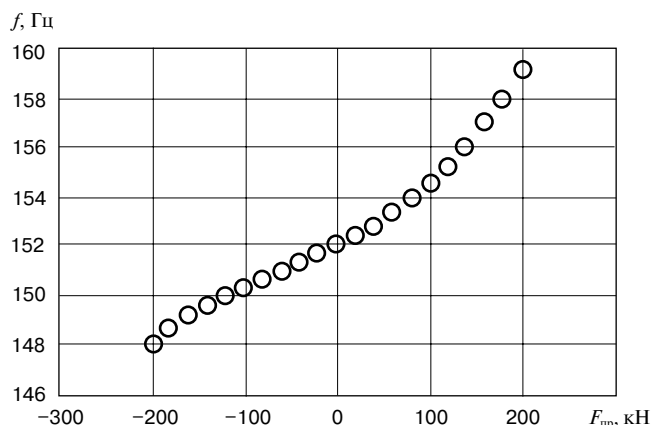


Рис. 3. Зависимость собственной частоты первой формы колебаний рельса f от величины продольной силы (расчетный метод)

Fig. 3. Dependence of the natural frequency of the first mode of vibration of the rail f on the value of the longitudinal force (calculation method)

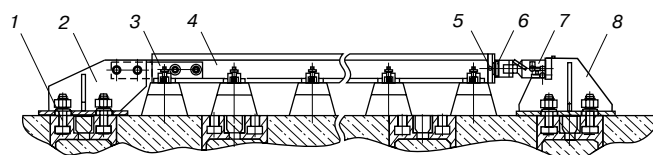


Рис. 4. Конструкция стэнда для испытаний рельсошпальной решетки:

1 — болты крепления стэнда; 2 — кронштейн; 3 — соединительная планка; 4 — рельсошпальная решетка; 5 — шарик; 6 — датчик силы; 7 — домкрат; 8 — упор

Fig. 4. Construction of the test bench for rail and sleepers:

1 — stand mounting bolts; 2 — bracket; 3 — connecting strip; 4 — rail-and-sleep grid; 5 — ball; 6 — force sensor; 7 — jack; 8 — emphasis



Рис. 5. Установка пьезоэлектрических вибропреобразователей на головку рельса
Fig. 5. Installation of piezoelectric vibration transducers on the rail head

(рис. 3) и экспериментально (рис. 7), равный 0,981, т. е. находящийся в диапазоне от 0,90...0,99 по шкале Чеддока [10], что соответствует весьма высокой степени связи между полученными зависимостями. Таким образом, разработанную модель участка пути можно считать адекватной и применять для оценки продольных сил в рельсах.

Для получения расчетной зависимости собственной частоты первой формы колебаний рельса от приложенной продольной силы для участка пути с отличным от выбранного устройства (радиус кривой, эпюра шпал, конструкция и состояние скреплений и др.) необходимо провести расчеты на соответствующей ему конечно-элементной модели.

Параллельно с расчетами и стендовыми испытаниями были проведены полигонные испытания на действующем участке бесстыкового пути Озерской ветки Московской железной дороги. Суть и методика этих испытаний были аналогичны испытаниям на стенде, однако дополнительно осуществлялась регистрация температуры рельсов.

Испытательный участок представляет собой прямую длиной около 1 км, с обоих концов которой имеются протяженные кривые радиусом 600 м. Это способствует ограничению продольного перемещения рельсов по краям этой прямой. При такой схеме испытательного участка и температурном удлинении рельсов происходит изменение продольного напряжения в них.

Так, в различное время года с 2017 по 2019 г. был проведен ряд измерений собственных частот колебаний рельса, результаты которых (рис. 8) показали характерную зависимость, при этом наблюдалась достаточная повторяемость результатов.

Определение действующей температуры закрепления рельса T_d проводится путем использования:

- разницы температуры, соответствующей температурному удлинению рельса, относительно фактической температуры закрепления;
- температуры рельса в момент измерения.

$$T_d = T_r \frac{F_{пр}}{ES_\alpha} = T_r \frac{\sigma_{пр}}{E_\alpha}, \quad (1)$$

где T_r — температура рельса в текущий момент, °С; $F_{пр}$ — продольная сила, Н; E — модуль упругости ме-

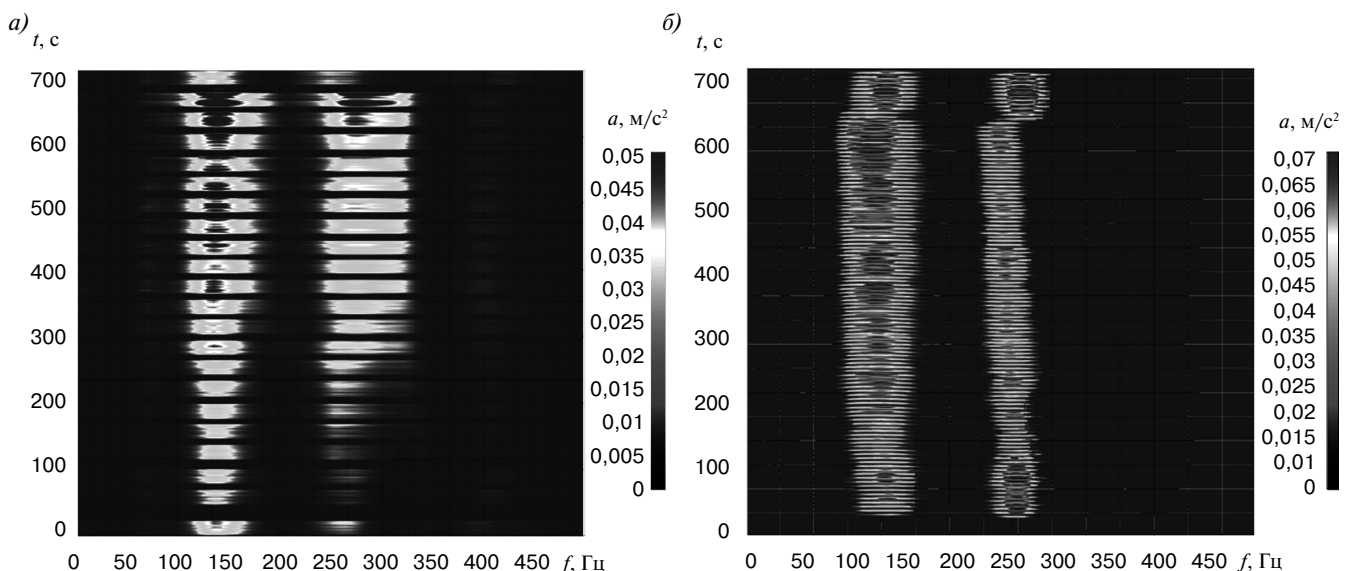


Рис. 6. Трехмерное представление спектров собственных колебаний головки рельса при растяжении до 200 кН (а) и сжатии до 200 кН (б), где в течение времени t производилось ступенчатое нагружение рельса с одновременным возбуждением его собственных колебаний (величина ускорения для соответствующих частот отражена на шкале а)

Fig. 6. Three-dimensional representation of the spectra of natural vibrations of the rail head under tension up to 200 kN (a) and compression up to 200 kN (b), where during time t step loading of the rail was performed with simultaneous excitation of its natural vibrations (the acceleration value for the corresponding frequencies is reflected on the scale a)

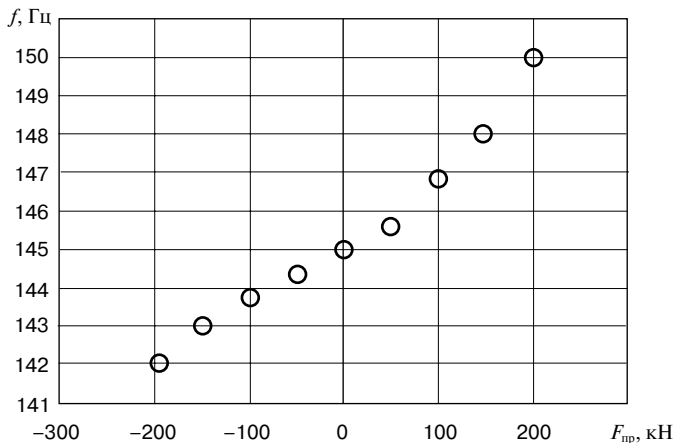


Рис. 7. Зависимость собственной частоты первой формы колебаний рельса от величины продольной силы (экспериментальный метод)

Fig. 7. Dependence of the natural frequency of the first rail vibration mode on the value of the longitudinal force (experimental method)

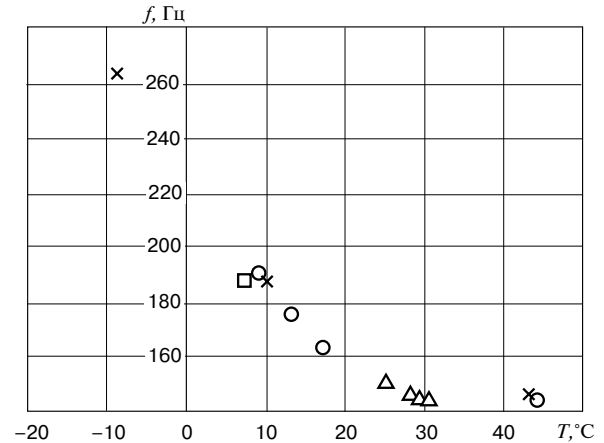


Рис. 8. Зависимость собственной частоты первой формы колебаний головки рельса от температуры рельса:

○ — в 2017 г.; × — в 2018 г.; □ — в 2019 г.; △ — для эквивалентной температуры рельса по результатам испытаний на стенде

Fig. 8. Dependence of the natural frequency of the first mode of vibration of the rail head on the temperature of the rail:

○ — in 2017; × — in 2018; □ — in 2019; △ — for the equivalent temperature of the rail according to the test results at the stand

талла рельса, Па; S — площадь поперечного сечения рельса, m^2 ; α — коэффициент линейного расширения металла рельса, $1/K$; $\sigma_{пр}$ — продольное напряжение, Па.

Применение предлагаемого метода приведено на примере измерения, проведенного в 2017 г. на Озерской ветке Московской железной дороги, при котором температура рельса составляла $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а собственная частота колебаний — 188 Гц .

Методом наименьших квадратов было получено уравнение полинома третьего порядка (2) для расчетной зависимости собственной частоты колебаний от приложенной продольной силы в рельсе (рис. 3):

$$f(F_{пр}) = 2 \cdot 10^{-7} F_{пр}^3 + 4 \cdot 10^{-5} F_{пр}^2 + 0,0194 F_{пр} + 152. \quad (2)$$

Решением этого уравнения с учетом известной частоты $f = 188\text{ Гц}$ является значение продольной силы, равное 455 кН .

Подставив найденное значение и температуру рельса в уравнение (1), получим действительную температуру закрепления рельса, равную $33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В соответствии с [7] все вновь укладываемые плети должны закрепляться при оптимальной температуре, при этом нормы оптимальной температуры закрепления касаются вновь укладываемых плетей, а также плетей, которые подверглись ремонту по восстановлению температурного режима работы.

Таким образом, для Московской инфраструктуры диапазон оптимальных температур закрепления составляет $25...35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следовательно, эксплуатация исследуе-

мого участка бесстыкового пути с действительной температурой закрепления $33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ является безопасной.

Заключение. Используя полученную для модели участка пути зависимость, значение собственной частоты колебаний реального рельса и температуру рельса, можно определить фактическую температуру закрепления рельса. Это, в свою очередь, может способствовать повышению безопасности движения за счет своевременного обнаружения превышения допустимой температуры закрепления рельса.

Результаты проведенных работ подтверждают возможность и эффективность применения метода определения продольного напряжения в рельсе по изменению собственных частот колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бромберг Е. М. Перспективы и проблемы развития бесстыкового пути на железных дорогах СССР // Труды ВНИИЖТ. М.: Трансжелдориздат, 1962. Вып. 244: Бесстыковой путь. С. 5–18.
2. Зверев Н. Б. Экспериментальное исследование работы бесстыкового пути // Труды ВНИИЖТ. М.: Трансжелдориздат, 1962. Вып. 244: Бесстыковой путь. С. 46–60.
3. Бромберг Е. М., Зверев Н. Б. Бесстыковой путь в кривых. М.: Транспорт, 1968. С. 3–31.
4. Бромберг Е. М. Устойчивость бесстыкового пути под поездами // Совершенствование конструкции и эксплуатации бесстыкового пути. М.: Транспорт, 1988. С. 13–20. (Труды ВНИИЖТ).
5. Першин С. П. Метод расчета устойчивости бесстыкового пути // Труды МИИТ. М., 1962. Вып. 147: Путь и путевое хозяйство. С. 28–97.
6. Карпушенко Н. И., Осипов В. Г., Грищенко В. А. Проблемы и перспективы развития бесстыкового пути // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2010. № 22. С. 23–34.

7. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути для обеспечения прочности и устойчивости бесстыкового пути: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2016 г. № 2544р. 185 с.

8. Гапанович В.А., Михалкин И.К., Симаков О.Б. Комплексная оценка состояния бесстыкового пути // Железнодорожный транспорт. 2015. № 9. С. 24–27.

9. Павленко В.В. Система определения предотказного состояния бесстыкового пути для обеспечения безопасности движения поездов // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 5. С. 31–33.

10. Патент № 2670723 Российская Федерация, МПК G01L1/00 (2006.01). Способ определения напряженно-деформированного состояния различных упругих объектов: № 2017144958; заявл. 21.12.2017; опубл. 15.11.2018 / Бидуля А.Л. [и др.]; заявитель АО «ВНИКТИ». 9 с.

11. ГОСТ 10629–88. Шпалы железобетонные, предварительно напряженные для железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия: межгос. стандарт: утв. и введен в действие постановлением Государственного строительного комитета СССР от 21 ноября 1988 г. № 228: дата введения 1990-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 16 с.

12. ГОСТ 16277–93 (ИСО 6305-2-83). Подкладки раздельного скрепления железнодорожных рельсов типов Р50, Р65 и Р75. Технические условия: межгос. стандарт: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 27 октября 1993 г.: дата введения 1995-01-01. М.: Стандартинформ, 2006. 20 с.

13. ГОСТ Р 56291–2014. Прокладки рельсовых скреплений железнодорожного пути. Технические условия (с поправкой): нац.

стандарт Российской Федерации: дата введения 2015-05-01. М.: Стандартинформ, 2015. 32 с.

14. ГОСТ Р 51685–2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия (с Изменением № 1): нац. стандарт Российской Федерации: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 102 с.

15. Чунин С.В., Шабуневич В.И., Савоськин А.Н. Экспериментальное исследование собственных частот и форм колебаний рельса // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2020. Т. 79. № 3. С. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-154-160>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ВОЛОХОВ Григорий Михайлович,
д-р техн. наук, заведующий отделением динамики
и прочности подвижного состава и инфраструктуры,
АО «ВНИКТИ»

ЧУНИН Сергей Владимирович,
заведующий лабораторией, АО «ВНИКТИ»

УШАНОВ Андрей Викторович,
заведующий лабораторией, АО «ВНИКТИ»

Статья поступила в редакцию 29.09.2021 г., первая рецензия получена 28.10.2021 г., вторая рецензия получена 08.11.2021 г., принята к публикации 12.11.2021 г.

Для цитирования: Волохов Г. М., Чунин С. В., Ушанов А. В. Методика оценки работоспособности бесстыкового пути по критерию соответствия действительной температуры закрепления рельса нормируемому значению // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 327–333. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-327-333>.

Methodic for evaluating the performance of a continuous welded track according to the criterion of compliance of the actual rail fastening temperature with the standardized value

G. M. VOLOKHOV, S. V. CHUNIN, A. V. USHANOV

Joint Stock Company “Research and Development Institute of Rolling Stock” (JSC “VNIKT”), Kolomna, 140402, Russia

Abstract. Problem of safety evaluation of continuous welded track operation is considered. A comparative analysis of the current assessment methods is carried out and a method is proposed for identifying dangerous track sections according to the criterion of compliance of the actual rail fastening temperature with the standardized one. Under the actual fixing temperature in the article, the temperature of the rail is taken at which, as a result of its thermal expansion or contraction, a zero value of the longitudinal force is formed in it. A method is presented for calculating the actual temperature of rail fastening using the dependence of the natural frequency of rail vibrations on the applied longitudinal force, which was obtained by the computational method using the finite element model of the track section created by the authors by means of modal calculations for various values of the longitudinal force applied to the rail. Its verification was carried out using experimental data obtained as a result of testing at a specialized stand. The method of tests carried out on the stand and section of the continuous track of the Ozerskaya branch of the Moscow Rail-

way is described, which consists in determining the natural frequency of the first mode of rail vibration at different values of the longitudinal force, and in the case of field tests at different values of the rail temperature. The calculation of the actual temperature of rail fastening is given on the example of a section of a continuous-welded track of the Ozerskaya branch of the Moscow railway. It was found that the temperature of rail fastening on the investigated section corresponds to the normative for the given region.

Keywords: locomotive; multi-unit rolling stock; body; frame; strength; dynamic strength tests

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-327-333>

REFERENCES

1. Bromberg E. M. *Perspektivy i problemy razvitiya besстыkovoogo puti na zheleznykh dorogakh SSSR* [Prospects and problems of the development of continuous welded track on the railways of

the USSR]. Trudy VNIIZhT [Proceedings of VNIIZHT]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1962, issue 244, pp. 5–18.

2. Zverev N. B. *Eksperimental'noe issledovanie raboty besstykovogo puti* [Experimental study of the continuous welded track operation]. Trudy VNIIZhT [Proceedings of VNIIZHT]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1962, issue 244, pp. 46–60.

3. Bromberg E. M., Zverev N. B. *Besstykovoy put' v krivyykh* [Continuous welded track in curves]. Moscow, Transport Publ., 1968, pp. 3–31.

4. Bromberg E. M. *Ustoychivost' besstykovogo puti pod poezdami* [Stability of the continuous welded track under trains]. Sovreshenstvovanie konstruktiv i ekspluatatsii besstykovogo puti. Tr. VNIIZhT [Improvement of the design and operation of the continuous welded track. Proc. of VNIIZHT]. Moscow, Transport Publ., 1988, pp. 13–20.

5. Pershin S. P. *Metod rascheta ustoychivosti besstykovogo puti* [Method for calculating the stability of a continuous welded track]. Trudy MIIT [Proceedings of MIIT]. Moscow, 1962, issue 147, pp. 28–97.

6. Karpushchenko N. I., Osipov V. G., Grishchenko V. A. *Problemy i perspektivy razvitiya besstykovogo puti* [Problems and prospects of the development of continuous welded track]. The Siberian Transport University Bulletin, 2010, no. 22, pp. 23–34.

7. *Instructions for the arrangement, laying, maintenance and repair of a continuous welded track to ensure the strength and stability of a continuous welded track*. Approved by order of JSC Russian Railways dated December 14, 2016 No. 2544r, 185 p. (in Russ.).

8. Gapanovich V. A., Mikhalkin I. K., Simakov O. B. *Kompleksnaya otsenka sostoyaniya besstykovogo puti* [Complex assessment of the state of continuous welded track]. Zhelezнодорожный транспорт, 2015, no. 9, pp. 24–27.

9. Pavlenko V. V. *Sistema opredeleniya predotkaznogo sostoyaniya besstykovogo puti dlya obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov* [System for determining the pre-failure state of a continuous welded track to ensure the safety of train traffic]. Transport Rossiyskoy Federatsii, 2011, no. 5, pp. 31–33.

10. Bidulya A. L., Volokhov G. M., Ovechnikov M. N., Pannin Yu. A., Ponomarev A. S., Chunin S. V., Shabunovich V. I. *Sposob opredeleniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya raz-*

lichnykh uprugikh ob'ektov [Method for determining the stress-strain state of various elastic objects]. Patent no. 2670723, Rossiyskaya Federatsiya [Russian Federation], MPK G01L1/00 (2006.01), publ. 15.11.2018, 9 p. (in Russ.).

11. GOST 10629–88. *Prestressed reinforced concrete sleepers for 1520 mm gauge railways. Specifications*. Interstate standard, approved and put into effect by the decree of the State Construction Committee of the USSR dated November 21, 1988 No. 228. Moscow, IPK Publishing house of standards, 2004, 16 p. (in Russ.).

12. GOST 16277–93 (ISO 6305-2-83). *Plates of separate fastening for railway P50, P65 and P75 rails. Specifications*. Interstate standard, adopted by the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification on October 27, 1993. Moscow, Standartinform Publ., 2006, 20 p. (in Russ.).

13. GOST R 56291–2014. *Rail fasteners pads of railway. Specifications (as amended)*. National standard of the Russian Federation. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 32 p. (in Russ.).

14. GOST R 51685–2013. *Railway rails. General specifications (with Amendment No. 1)*. National standard of the Russian Federation. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 102 p. (in Russ.).

15. Chunin S. V., Shabunovich V. I., Savos'kin A. N. *Eksperimental'noe issledovanie sobstvennykh chastot i form kolebaniy rel'sa* [Experimental study of natural frequencies and forms of the rail oscillations]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2020, Vol. 79, no. 3, pp. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-154-160>.

ABOUT THE AUTHORS

Grigoriy M. VOLOKHOV,

Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department of Dynamics and Strength of Rolling Stock and Infrastructure, JSC "VNIKT"

Sergey V. CHUNIN,

Head of Laboratory, JSC "VNIKT"

Andrey V. USHANOV,

Head of Laboratory, JSC "VNIKT"

Received 29.09.2021

First review received 28.10.2021

Second review received 08.11.2021

Accepted 12.11.2021

■ E-mail: vnikti15@yandex.ru (S. V. Chunin)

For citation: Volokhov G. M., Chunin S. V., Ushanov A. V. Method for evaluating the performance of a continuous welded track according to the criterion of compliance of the actual rail fastening temperature with the standardized value // Russian Railway Science. 2021. 80 (6): 327–333 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-327-333>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Ромен Ю. С. Взаимодействие пути и экипажа в рельсовой колее / Ю. С. Ромен. — М.: РАС, 2019. — 160 с.

Рассмотрены проблемы системы «колесо–рельс». Дано описание основных этапов моделирования динамических процессов и проведения испытаний. Изложена методика составления математической модели движения подвижного состава и определения параметров взаимодействия подвижного состава и пути в процессе испытаний. Показано влияние состояния поверхности катания на силы вписывания, а также влияние неровностей на колебания тележки.

Книга предназначена для научных и научно-технических работников железнодорожного транспорта, а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.