

# Экспериментальное исследование собственных частот и форм колебаний рельса

С. В. ЧУНИН<sup>1</sup>, В. И. ШАБУНЕВИЧ<sup>1</sup>, А. Н. САВОСЬКИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, 140402, Россия

<sup>2</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)), Москва, 127994, Россия

**Аннотация.** Рассмотрена проблема оценки устойчивости бесстыкового пути при его температурном удлинении и предложен способ данной оценки путем сравнения действительной температуры закрепления рельсовой плети с нормативной. Приведен метод определения действительной температуры закрепления рельса, заключающийся в измерении его температуры и частот собственных колебаний с последующим анализом зависимости частоты собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении от величины продольного усилия, приложенного к рельсу. Описывается методика проведенных испытаний на стенде и участке бесстыкового пути Озерской ветки Московской железной дороги. Суть методики заключается в определении значений собственных колебаний рельса с помощью различных средств измерений (тензорезисторов, вибропреобразователей, шумомера) при разных значениях продольного усилия, приложенного к нему. Собственные колебания возбуждались путем удара по головке рельса в поперечном направлении. Проведен сравнительный анализ форм и частот собственных колебаний головки рельса по результатам испытаний в стендовых и полигонных условиях. Было установлено, что наиболее близкая сходимость частот собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении, полученных в процессе испытаний в полигонных и стендовых условиях, соответствует первой форме колебаний. В ходе стендовых испытаний определена зависимость частоты первой формы собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении от величины продольного усилия, приложенного к рельсу. По итогам сравнительного анализа результатов измерений собственных частот колебаний рельса установлена возможность применения для их регистрации шумомера и аналогичных средств измерений. Также приведен расчет действительной температуры закрепления рельса на примере участка бесстыкового пути Озерской ветки Московской железной дороги и установлено ее соответствие нормативной для данного региона.

**Ключевые слова:** устойчивость; бесстыковой путь; собственные частоты; формы колебаний; продольное усилие; испытания

**Введение.** На железной дороге все более широко применяется бесстыковой путь, имеющий ряд преимуществ перед звеньевым. Однако и этот путь не лишен недостатков. Одной из проблем эксплуатации бесстыкового пути является необходимость постоянного контроля продольного напряжения в рельсе, возникающего от его сезонного температурного удлинения. Эксплуатация такого пути с ошибочно реализованным или недостаточно точно полученным

значением продольного напряжения может привести к выбросу рельсового пути, авариям и нарушению перевозочного процесса [1].

В настоящее время устройство, укладка, содержание и ремонт бесстыкового пути определены распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.2012 № 2788р [2]. Однако метод контроля напряженного состояния рельса в процессе эксплуатации в нем не оговорен. Случайное изменение напряженного состояния рельса может происходить вследствие угона, проведения ремонтных работ, изменения геометрии пути и др. Так, в период с 2010 по 2016 г. было зафиксировано 22 случая схода подвижного состава из-за выброса пути. Все это требует разработки новых методов обеспечения работоспособности бесстыкового пути.

**Предлагаемое решение.** Наиболее эффективным представляется метод повышения безопасности при эксплуатации бесстыкового пути на основе определения участков пути с действительной температурой закрепления рельса, не соответствующей нормативной [2].

Действительная температура  $T_d$ , при которой производят закрепление рельса без приложения продольного усилия, может быть определена как

$$T_d = T_t \pm \Delta T_F, \quad (1)$$

где  $T_t$  — температура рельса в момент измерения;  $\Delta T_F$  — изменение температуры, соответствующее температурному удлинению рельса относительно фактической температуры закрепления, которое можно найти по формуле

$$\Delta T_F = \frac{\varepsilon}{\alpha}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения металла рельса;  $\varepsilon$  — относительное удлинение рельса, которое равно

$$\varepsilon = \frac{F_{np}}{ES} = \frac{\sigma_{np}}{E}, \quad (3)$$

где  $F_{np}$ ,  $\sigma_{np}$  — продольное усилие и механическое напряжение в продольном направлении, возникшие

в результате температурного расширения, соответственно;  $E$  — модуль упругости металла рельса;  $S$  — площадь поперечного сечения рельса.

Подставив (3) и (2) в (1), получим окончательную формулу для нахождения действительной температуры закрепления рельса:

$$T_d = T_r \pm \frac{F_{np}}{ES\alpha} = T_r \pm \frac{\sigma_{np}}{E\alpha}. \quad (4)$$

Для решения уравнения (4) необходимо определить продольное усилие или механическое напряжение в продольном направлении и температуру рельса в текущий момент.

Определение продольного напряжения рельса предлагается производить по оценке изменения собственных частот колебаний относительно значений, полученных при нулевой продольной нагрузке путем расчета или экспериментально. По сравнению с существующими методами (например, наваркой или врезкой в рельс чувствительных тензометрических элементов [1, 3, 4, 5, 6]) данный метод имеет ряд преимуществ, которые позволяют выполнять мониторинг продольных напряжений рельсового полотна без внесения изменений в конструкцию рельса, а также проводить измерения с использованием бесконтактных средств измерений, таких как шумомер или опволоконные измерительные системы.

**Полигонные испытания.** В июле 2017 г. специалистами АО «ВНИКТИ» начаты испытания на бесстыковом участке пути Озерской ветки Московской железной дороги с целью выявления зависимости значений собственных частот колебаний рельса от продольного напряжения в рельсе, обусловленного изменением его температуры. Испытательный участок представлял собой прямую протяженностью 1500 м, находящуюся между двумя кривыми радиусами 600 м. Измерение собственных колебаний головки рельса проводилось с использованием:

- вибропреобразователей 1–8, установленных на головку рельса для регистрации колебаний в поперечном направлении (рис. 1);

- микрофона шумомера 9, установленного на расстоянии 50–150 мм от шейки рельса на уровне его подошвы (рис. 1);

- тензорезисторов, установленных вертикально на боковой поверхности шейки рельса с обеих его сторон (рис. 2) для регистрации изгибных форм колебаний рельса в поперечном направлении в местах установки вибропреобразователей (точки 1–8 на рис. 1);

- тензорезисторов, установленных вдоль оси рельса в точках 1–8 (рис. 1) с целью оценки равномерности распределения продольных напряжений в рельсе.

Испытания проводились при возбуждении собственных колебаний ударом по головке рельса в поперечном направлении в каждой точке 10–28 (рис. 1). В результате проведения испытаний была получена зависимость частоты собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении от температуры рельса и определены первые две формы собственных колебаний.

Анализируя график изменения значения собственной частоты первой формы колебаний головки рельса, выбранной как наиболее простой в идентификации (рис. 3), при различных температурах рельса и с учетом специфики расположения участка (наличие двух кривых, которые ограничивают продольные перемещения рельсов в прямом участке), можно сделать вывод о том, что с повышением температуры (при его тепловом расширении) изменяются продольные напряжения в сторону сжатия. В соответствии с этим можно приближенно считать, что изменение частот колебаний головки рельса зависит от изменения продольного напряжения в рельсе.

Зависимость частоты первой формы колебаний головки рельса в поперечном направлении от температуры рельса (рис. 3) показывает, что с ростом

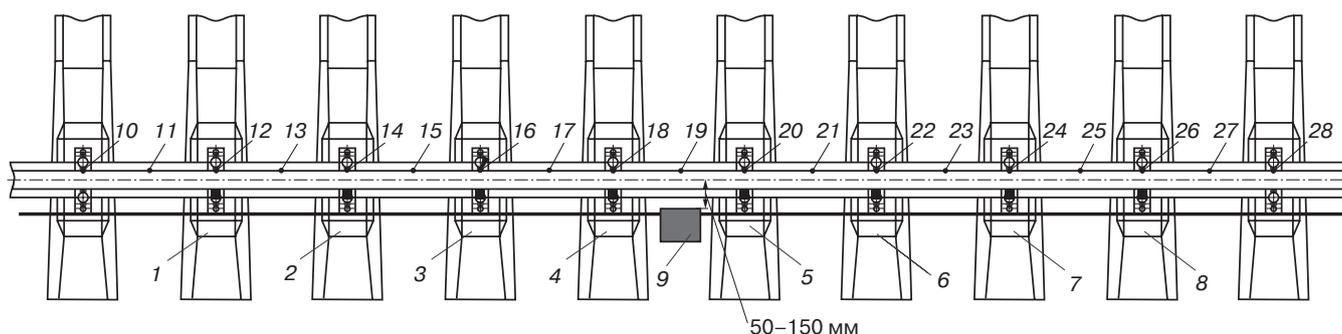


Рис. 1. Схема установки вибропреобразователей 1–8, микрофона шумомера 9 с указанием точек нанесения ударов 10–28  
Fig. 1. Installation diagram of vibration transducers 1–8, sound level meter microphone 9, indicating points of impacting 10–28

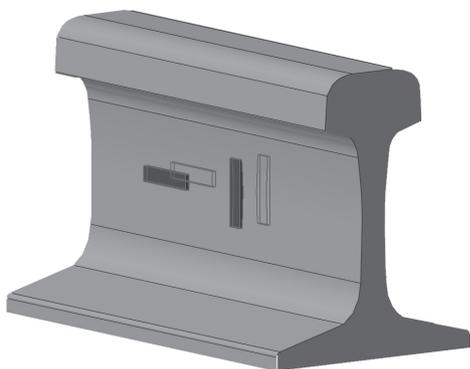


Рис. 2. Схема установки тензорезисторов на шейке рельса  
Fig. 2. Installation diagram of strain gages on the rail web

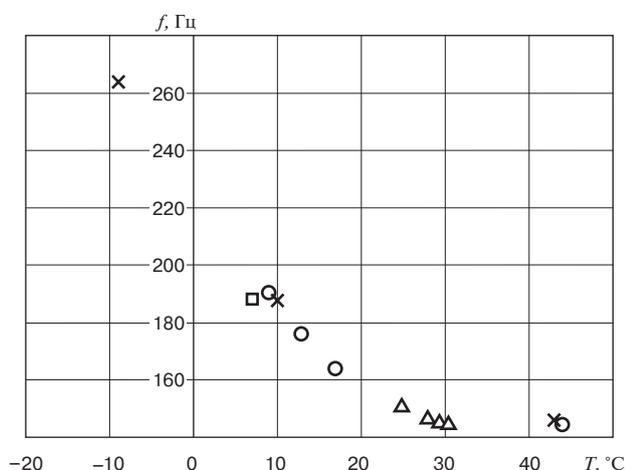


Рис. 3. График изменения значения собственной частоты первой формы колебаний головки рельса  $f$  при различных температурах рельса  $T$  (измерения проводились на Озерской ветке Московской железной дороги: ○ — в 2017 г.; × — в 2018 г.; □ — в 2019 г.); △ — для эквивалентной температуры рельса по результатам испытаний на стенде

Fig. 3. Graph of the change in the value of the natural frequency of the first vibration mode of the rail head  $f$  at various rail temperatures  $T$  (measurements were carried out on the Ozerskaya branch of the Moscow Railway: ○ — in 2017; × — in 2018; □ — in 2019; △ — for equivalent rail temperature according to test results on the bench

последней величина собственной частоты снижается из-за увеличения продольных напряжений сжатия.

При этом проведенные замеры собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении в различное время демонстрируют достаточную повторяемость результатов.

Полученная зависимость частоты колебаний от температуры может быть использована для оценки температуры закрепления рельсов, однако необходимо дополнительное проведение экспериментального или расчетного исследования с целью уточнения характеристик зависимости в более широкой области [7].

Кроме того, были проведены испытания с целью сравнения значений собственных частот коле-

баний, измеренных с использованием шумомера и пьезовибропреобразователя. Результаты этих испытаний в виде графиков зависимости виброускорений (рис. 4, а) и уровня звукового давления (рис. 4, б) от частоты показывают, что оба графика имеют максимумы на одинаковых частотах собственных колебаний рельса (144, 277, 550, 600, 650, 800 и 900 Гц).

Результаты, полученные с помощью указанных выше средств измерений, позволяют достаточно точно определить частоту первой формы колебаний головки рельса (144 Гц). Это свидетельствует о том, что регистрацию частот собственных колебаний возможно выполнять с помощью шумомера. Применение шумомера или аналогичного средства измерения (акустического датчика, микрофона и т. п.) упрощает процесс регистрации колебаний рельса и делает его более удобным, так как дает возможность проводить измерения без непосредственного контакта средства измерения и рельса.

Для оценки влияния факторов, зависящих от местоположения измерительного участка, были проведены измерения собственных частот колебаний рельса на разных участках Озерской ветки Московской железной дороги. В результате выявлено, что частота первой формы собственных колебаний рельса при одной и той же температуре не изменяется в зависимости от места проведения измерения вдоль рельса.

**Стендовые испытания.** В мае 2018 г. специалистами АО «ВНИКТИ» были проведены стендовые испытания рельса с целью выявления зависимости его собственных частот колебаний от продольного напряжения. Стенд (рис. 5) представляет собой часть рельсошпальной решетки 1, закрепленной к основанию упорами 2 с одной стороны и установленными с другой стороны домкратами 3. Этот стенд позволяет создавать усилия растяжения и сжатия в рельсе до 250 кН. Возбуждение собственных колебаний осуществлялось ударом по головке рельса в поперечном направлении. Средства измерения были установлены аналогично испытаниям на Озерской ветке Московской железной дороги (см. рис. 1).

В процессе испытаний проводились измерения:

- распределения продольного напряжения по длине рельса;
- виброускорения головки рельса в поперечном направлении;
- уровня звукового давления;
- деформации рельсов (изгиб шейки рельса).

Испытания проводились путем ступенчатого увеличения продольного усилия, приложенного к рельсу. На каждой ступени нагрузки осуществлялся поперечный удар и выполнялись измерения собственных колебаний рельса. В процессе испытаний было установлено, что поперечный удар вызывает появление в

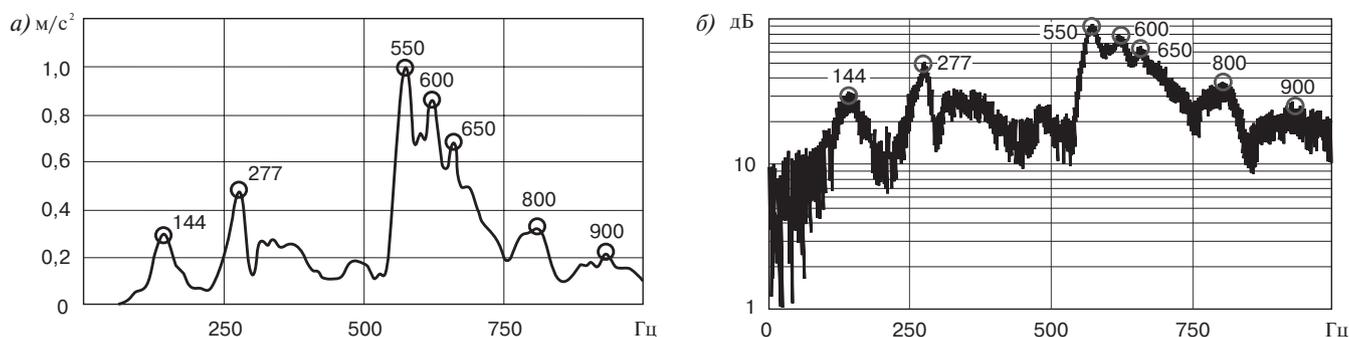


Рис. 4. Спектры собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении, измеренных с помощью:  
*a* — пьезовибропреобразователя; *б* — шумомера  
 Fig. 4. Spectra of the natural vibrations of the rail head in the transverse direction, measured using:  
*a* — piezo-vibration transducer; *б* — sound level meter

рельсе двух форм поперечных колебаний (рис. 6). Частоты этих форм колебаний, как и частоты, полученные при испытаниях бесстыкового пути на Озерской ветке, приведены в таблице.

Формы колебаний определялись путем сравнения различий в фазах собственных колебаний головки рельса, измеренных в местах установки вибропреобразователей (точки 1–8 на рис. 1).

В результате анализа полученных форм колебаний установлено, что первая форма колебаний головки рельса в поперечном направлении, полученная измерением на экспериментальном участке (рис. 6, *a*), соответствует форме колебаний, полученной при стендовых испытаниях (рис 6, *в*).

Вторые формы колебаний (рис. 6, *б* и *г*) существенно отличаются по частоте, что проявляется в значительном различии в длинах волн колебаний. Такое расхождение может обуславливаться различными условиями фиксации рельса в стенде (упорами и домкратами) и на испытательном участке, где длина экспериментальной прямой более чем в 350 раз превышает длину волны первой формы собственных колебаний головки рельса. Поэтому можно считать, что в полигонных условиях рельс является бесконечно длинным, не имеющим фиксации по краям.

Проанализировав данные таблицы, можно сделать вывод о том, что наиболее близкая сходимость частот колебаний головки рельса в поперечном направлении, полученных по результатам испытаний в полигонных и стендовых условиях, соответствует первой форме колебаний.

Таким образом, по результатам полигонных и стендовых испытаний для последующего анализа и расчета была выбрана первая форма колебаний головки рельса в поперечном направлении.

Для определения зависимости продольного усилия, приложенного к рельсу, от полученной частоты первой формы собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении были проведены стен-

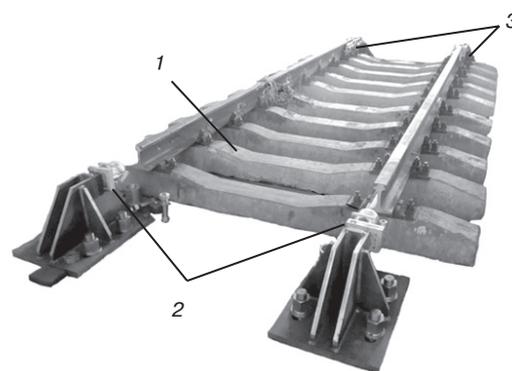


Рис. 5. Стенд испытательный:  
 1 — рельсошпальная решетка; 2 — упоры; 3 — домкраты  
 Fig. 5. Test bench:  
 1 — rail-sleeper grid; 2 — supports; 3 — jacks

**Частоты собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении, полученные различными методами**  
**Natural frequencies of the rail head in the transverse direction, obtained by various methods**

Метод испытаний	Частота колебаний, Гц	
	1-я форма	2-я форма
На железнодорожном пути	144	277
Стендовые испытания	145	180

довые испытания. Результаты испытаний рельса при приложении продольного усилия растяжения представлены на рис. 7. Как видно на этом рисунке, указанная зависимость имеет нелинейный характер. При этом оказалось, что увеличение продольной силы на 200 кН вызывает повышение частоты первой формы колебаний на 5 Гц.

Используя полученную зависимость частоты собственных поперечных колебаний рельса от его температуры (рис. 3) и измеренные в текущий момент времени значения температуры и собственной частоты, можно по формуле (4) определить температуру закрепления рельса.

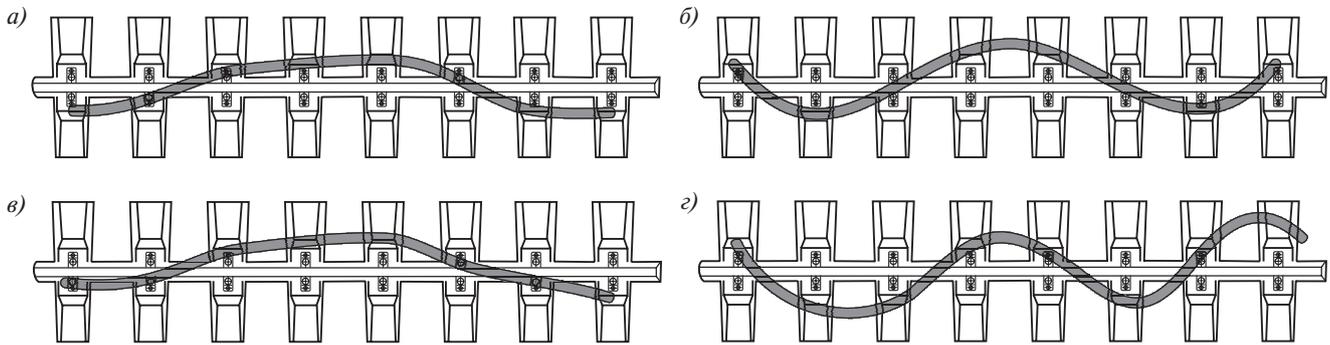


Рис. 6. Формы собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении: первая (а) и вторая (б), полученные измерениями на экспериментальном участке железнодорожного пути; первая (в) и вторая (з), полученные измерениями при стендовых испытаниях  
 Fig. 6. Forms of natural vibrations of the rail head in the transverse direction: the first (a) and second (б) obtained by measurements on the test section of the railway track; first (в) and second (з) obtained by measurements during bench tests

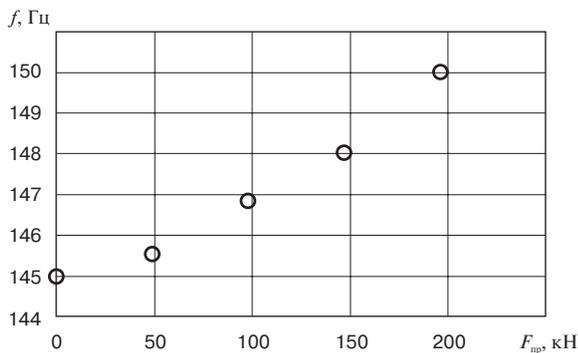


Рис. 7. Зависимость частоты первой формы собственных колебаний головки рельса в поперечном направлении от продольного усилия растяжения  
 Fig. 7. Dependence of the frequency of the first form of natural oscillations of the rail head in the transverse direction on the longitudinal tensile forces

**Пример расчета.** К примеру, в 2017 г. на Озерской ветке Московской железной дороги (рис. 3) температура рельса составила  $10\text{ }^\circ\text{C}$ , а частота первой формы собственных колебаний —  $188\text{ Гц}$ . Определение продольного усилия в рельсе для найденной частоты производится путем экстраполяции полученных данных при стендовых испытаниях. Для этого методом наименьших квадратов было найдено уравнение полинома 2-го порядка, описывающее зависимость частоты первой формы собственных колебаний головки рельса от продольного усилия в нем (рис. 7):

$$f(F_{np}) = 0,0002F_{np}^2 - 0,0181F_{np} + 145,18. \quad (5)$$

При этом коэффициент достоверности аппроксимации составил  $R^2 = 0,9829$ .

Используя полученную зависимость (5) и измеренную частоту, можно определить продольное усилие, которое в выбранном примере для частоты  $188\text{ Гц}$  равно  $510\text{ кН}$ . Далее по формуле (4) можно найти действительную температуру закрепления рельса  $T_d$ :

$$T_d = T_t \pm \frac{F_{np}}{ES\alpha} = 10 + \frac{510 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 82,65 \cdot 10^{-4} \cdot 11,8 \cdot 10^{-6}} = 36,1\text{ }^\circ\text{C},$$

где  $E = 2 \cdot 10^{11}\text{ Па}$ ;  $S = 82,65 \cdot 10^{-4}\text{ м}^2$  [8, табл. Д.1];  $\alpha = 11,8 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$  [8, табл. Д.1].

Оценка возможности применения уравнения (6) для экстраполяции данных, полученных при стендовых испытаниях, производится статистическими методами по соотношениям Чеддока [9]. Для этого определены эквивалентные температуры (соответствующие продольным усилиям, имитирующим температурное расширение рельса при испытаниях на стенде, рис. 7), которые представлены на рис. 3. Далее для совокупности данных, полученных при испытаниях на экспериментальном участке и стенде, методом наименьших квадратов найдено уравнение полинома 2-го порядка, описывающее зависимость частоты первой формы собственных колебаний головки рельса от его температуры:

$$f(T) = 0,0573T^2 - 4,2352T + 220,84. \quad (6)$$

При этом коэффициент достоверности аппроксимации (коэффициент детерминации) составил  $R^2 = 0,9954$ , а эмпирическое корреляционное отношение  $\eta = 0,9977$ . По соотношениям Чеддока [9] полученное отношение  $\eta > 0,9$  соответствует весьма тесной связи между экспериментальными данными и зависимостью по уравнению (6).

Согласно п. 3.4.1 [2] для обеспечения прочности и устойчивости бесстыкового пути все укладываемые плети должны закрепляться при оптимальной температуре. Норма оптимальной температуры закрепления плетей для Московской дирекции инфраструктуры составляет  $(35 \pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$ .

Полученный результат показывает, что исследуемый участок бесстыкового пути эксплуатируется в безопасном температурном режиме.

**Заключение.** Предлагаемый способ прогнозирования работоспособности рельсов бесстыкового пути позволяет повысить безопасность движения за счет своевременного обнаружения участков пути с несоответствующей нормативному значению фактической температурой закрепления рельсов, оценку которой можно провести путем расчета, используя измеренную в текущий момент температуру, частоту собственных колебаний рельса и зависимость частоты собственных колебаний рельса от продольного усилия, приложенного к нему.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов О.А. Функциональная безопасность эксплуатации бесстыкового пути: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.06. М., 2017. 241 с.
2. Об утверждении и вводе в действие «Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути» [Электронный ресурс]: распоряжение ОАО «РЖД» от 29.12.2012 № 2788р. URL: <http://www.consultant.ru/cons/CGI/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=548337#04342784852332904> (дата обращения: 02.03.2020 г.).
3. Виногоров Н. П., Савин А. В. Определение напряженного состояния плетей // Путь и путевое хозяйство. 2001. № 4. С. 16–20.
4. Киш А., Самаведом Дж. Измерение продольных сил в рельсовых плетях // Железные дороги мира. 1989. № 5. С. 58–62.

**Для цитирования:** Чунин С. В., Шабуневич В. И., Савоськин А. Н. Экспериментальное исследование собственных частот и форм колебаний рельса // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 3. С. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-154-160>.

## Experimental study of natural frequencies and forms of the rail oscillations

S. V. CHUNIN<sup>1</sup>, V. I. SHABUNEVICH<sup>1</sup>, A. N. SAVOS'KIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Joint Stock Company "Research and Design and Technological Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI"), Kolomna, 140402, Russia

<sup>2</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (FGAOU VO RUT (MIIT)), Moscow, 127994, Russia

**Abstract.** The article considers the problem of assessing the stability of the continuously welded track at its temperature elongation and proposes a method for this assessment by comparing the actual temperature of fastening the rail strings with the standard one. A method for determining the actual temperature of rail fastening is presented, which consists in measuring its temperature and natural vibration frequencies, followed by an analysis of the dependence of the change in the natural frequency of the rail head in the transverse direction on the magnitude of the longitudinal force applied to the rail. The methodology of the tests performed at the bench and section of the continuously welded track of the Ozerskaya branch of the Moscow railway is described. The essence of the technique is to determine the values of natural vibrations using various measuring instruments (strain gauges, vibration transducers, sound level meters) at different values of the longitudinal force applied to the rail. Natural vibrations were excited by hitting the rail head in the transverse direction. A comparative analysis of the forms and frequencies of natural vibrations of the rail head is carried out according to the test results in bench and operational area conditions. It was found that the closest convergence of the vibration frequencies of the rail head in the transverse direction corresponds to the first mode of vibration. During bench tests, the dependence of the frequency

5. Морозов С. И. О диагностике устойчивости бесстыкового пути // Вестник ВНИИЖТ. 1986. № 6. С. 51–54.

6. Савин А. В. Напряженное состояние рельсовой плети и методы его определения: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. М., 2002. 160 с.

7. Wayside System for In-Situ Measurement of Rail Neutral Temperature by Nonlinear Ultrasonic Guided Waves / C. Nucera [et al.] // Proc. of the ASME. Rail Transportation Division Fall Technical Conference. USA, 2012. 5 p.

8. ГОСТ Р 51685–2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. М., 2014. 19 с.

9. Елисеева И. И. Общая теория статистики: учеб. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2004. 656 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**ЧУНИН Сергей Владимирович**, заведующий лабораторией, АО «ВНИКТИ»

**ШАБУНЕВИЧ Виктор Иванович**, канд. техн. наук, ведущий инженер, АО «ВНИКТИ»

**САВОСЬКИН Анатолий Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Электропоезда и локомотивы», ФGAOU VO RUT (МИИТ)

Статья поступила в редакцию 17.03.2020 г., актуализирована 10.04.2020 г., принята к публикации 11.05.2020 г.

change of the first form of natural vibrations of the rail head in the transverse direction on the magnitude of the longitudinal force applied to the rail was determined. According to the results of a comparative analysis of the results of measurements of the natural frequencies of rail oscillations, the possibility of using a sound level meter or similar measuring instruments for their registration was established. The calculation of the actual temperature of the rail fastening is also given on the example of the section of the continuously welded track of the Ozerskaya branch of the Moscow railway and its compliance with the normative for this region is established.

**Keywords:** sustainability; continuously welded track; natural frequencies; waveforms; longitudinal force; tests

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-154-160>

## REFERENCES

1. Suslov O. A. *Funktsional'naya bezopasnost' ekspluatatsii besstykovogo puti*. Dis. d-ra tekhn. nauk. [Functional safety of the operation of the continuously welded track. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 2017, 241 p.
2. *On approval and implementation of the "Instructions for the installation, laying, maintenance and repair of the continuously welded track"*. Order of Russian Railways No. 2788r dated Decem-

ber 29, 2012. URL: <http://www.consultant.ru/cons/CGI/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=548337#04342784852332904> (retrieved on 02.03.2020) (in Russ.).

3. Vinogorov N. P., Savin A. V. *Opređenje napryazhennogo sostoyaniya pletey* [Determination of the stress state of the rail strings]. *Railway Track and Facilities*, 2001, no. 4, pp. 16–20.

4. Kish A., Samavedam J. *Izmerenie prodol'nykh sil v rel'sovykh pletyakh* [Measurement of longitudinal forces in rail strings]. *Rail International*, 1989, no. 5, pp. 58–62.

5. Morozov S. I. *O diagnostike ustoychivosti besстыkovogo puti* [About diagnostics of stability of a continuously welded track]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 1986, no. 6, pp. 51–54.

6. Savin A. V. *Napryazhennoe sostoyanie rel'sovoy pleti i metody ego opredeleniya*. Dis. kand. tekhn. nauk [Stress state of the rail string and methods for its determination. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2002, 160 p.

7. Nucera C., Di Scalea F., Phillips R., Carr G., Fateh M. *Wayside System for In-Situ Measurement of Rail Neutral Temperature by*

*Nonlinear Ultrasonic Guided Waves*. Proc. of the ASME. Rail Transportation Division Fall Technical Conference. USA, 2012. 5 p.

8. GOST R 51685–2013. *Railway rails. General specifications*. Moscow, 2014, 19 p. (in Russ.).

9. Eliseeva I. I. *Obshchaya teoriya statistiki*. Ucheb. 5-e izd., pererab. i dop [General theory of statistics. Reference book, 5<sup>th</sup> ed., revised and added]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2004, 656 p.

## ABOUT THE AUTHORS

**Sergey V. CHUNIN**,  
Head of Laboratory, JSC “VNIKI”

**Viktor I. SHABUNEVICH**,  
Cand. Sci. (Eng.), Leading Engineer, JSC “VNIKI”

**Anatoliy N. SAVOS’KIN**,  
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department “Electric trains and locomotives”, FGAOU VO RUT (MIIT)

Received 17.03.2020

Revised 10.04.2020

Accepted 11.05.2020

■ E-mail: [chunin-sv@vnikti.com](mailto:chunin-sv@vnikti.com) (S. V. Chunin)

**For citation:** Chunin S. V., Shabunovich V. I., Savos’kin A. N. Experimental study of natural frequencies and forms of the rail oscillations. *Vestnik of the Railway Research Institute*. 2020. 79 (3): 154–160 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-154-160>.

## ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

**АСУ «Экспресс» — автоматизированная система управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте** / под ред. А. В. Комиссарова. 2-е изд. М.: РАС, 2019. 68 с.

Коллектив авторов: Г. А. Антонова, А. С. Бабенко, М. П. Берёзка, М. И. Бобренкова, Ю. А. Гаврина, Т. В. Гнисюк, М. А. Гупаленко, В. А. Добычина, С. Б. Елизаров, Н. Б. Караванова, Т. А. Карпеева, А. В. Комиссаров, С. П. Кузякова, Е. Ю. Лёв, Н. Э. Магура, Е. А. Макарова, Е. А. Мартынова, О. В. Минаева, С. В. Муктепавел, О. В. Реванченкова, А. П. Рубинская, Е. М. Сивинцева, И. Н. Спесивцева, Е. И. Стасенкова, К. В. Суржин, М. В. Толмачёва, Г. М. Турсуматова, Е. В. Успенская.

**Максимов И. Н., Кондрашов В. М.** Альтернативные методы исследования динамики железнодорожных экипажей. М.: РАС, 2019. 108 с.

В книге подробно изложена методика исследования динамики железнодорожных экипажей, в основе которой лежит оригинальный подход к моделированию движения колесных пар железнодорожных экипажей в рельсовой колее, позволяющий реализовывать движение экипажей любой осности в прямых и кривых участках пути в режимах выбега, тяги и торможения.

**Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта:** материалы Всероссийской научно-практической конференции к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. Ч. 1 / под ред. А. Б. Косарева, Г. В. Гогричани. М.: РАС, 2019. 272 с.

Рассмотрены важные экономические факторы, влияющие на развитие железнодорожного транспорта, проблемы, связанные с подвижным составом, процессами управления перевозками, совершенствованием локомотивной тяги и токосъема электропод-

вижного состава, а также вопросы пути, путевого хозяйства, металло- и материаловедения.

В книге рассмотрены бизнес-процессы пассажирских перевозок с использованием автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками «Экспресс-3».

Во втором издании актуализированы и расширены описания текущего состояния информационных технологий системы «Экспресс-3», книга стала более удобной для чтения.

Издание предназначено для руководителей и инженерно-технического состава пассажирского комплекса; специалистов, связанных с разработкой и внедрением информационных технологий на российских железных дорогах; научных работников, преподавателей и студентов транспортных вузов.

Представлены алгоритмы описания профиля колеса и рельса, позволяющие исследовать влияние отдельных участков профилей на динамические качества подвижного состава, безопасность движения и износ колес колесных пар. Приведена методика прогнозирования износа профиля и изменения его формы в зависимости от пробега.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта, также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

Сборник рассчитан на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта.

*По вопросам приобретения книг 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](mailto:rio@vniizht.ru), [www.vniizht.ru](http://www.vniizht.ru).*