

5 Принимаем рассчитанную амплитуду неровности (по графику  $C_{\text{бк}} = C_{\text{бк}}(L_k)$  в качестве критической –  $C_{\text{бк}}$ .

Сравниваем критическую амплитуду неровности  $C_{\text{бк}}$  с фактической  $C_{\text{б}}$  (измеренной вагоном-путьеизмерителем) и определяем коэффициент безопасности  $K_{\text{б}}$ , изменяющийся от 0 до 1.

$$K_{\text{б}} = \frac{C_{\text{бк}} - C_{\text{б}}}{C_{\text{бк}}}. \quad (9)$$

Предложенная методика позволяет оценивать безопасность эксплуатации бесстыкового пути с учетом его реального продольно-напряженного состояния и фактического геометрического положения в плане, кроме того становится возможным учесть влияние рельсовых скреплений на устойчивость бесстыкового пути с учетом степени прижатия рельсовой плети к шпалам [3, 4].

В настоящее время имеется возможность реализовать на вагонах-путьеизмерителях предлагаемую математическую модель. Производители путьеизмерительных средств уже обладают технологиями сбора и обработки данных по необходимым параметрам.

#### Список литературы

- 1 Коган, А. Я. Оценка безопасной эксплуатации бесстыкового пути по условию выброса с учетом его фактического состояния / А. Я. Коган, А. В. Савин // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – № 2. – С. 5–12.
- 2 Коган, А. Я. Нелинейная устойчивость бесстыкового пути в прямых участках при наихудших формах ненапряженной начальной неровности / А. Я. Коган, В. А. Грищенко // Вестник ВНИИЖТ. – 1993. – № 3. – С. 16–23.
- 3 Коган, А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом / А. Я. Коган. – М. : Транспорт, 1997. – 296 с.
- 4 Коган, А. Я. Устойчивость бесстыкового пути при различных конструкциях скреплений и условиях их эксплуатации / А. Я. Коган, А. В. Лебедев // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 2. – С. 7–14.

УДК 625.144.1

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

*О. А. СУСЛОВ, М. А. ГРИШИНА, В. А. ТРУШКИН*

*Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»),  
г. Москва, Российская Федерация*

При эксплуатации бесстыкового пути температурно-напряженного типа возникают отказы, связанные с потерей устойчивости рельсошпальной решетки (выброс и сдвиг пути) или с разрушением рельсов в период действия пониженных температур – излом плети. Требования по устройству и содержанию бесстыкового пути должны предотвращать эти отказы, а также, ввиду постоянного увеличения грузонапряженности, масс поездов и осевой нагрузки, необходима их регулярная актуализация. С учетом этого наиболее целесообразно перейти к оценкам норм устройства и содержания бесстыкового пути на основе расчетов и анализа вероятностей отказов, характеризующих его эксплуатационную надежность.

Аналитическое описание расчетных алгоритмов выполнения таких оценок для определения вероятностей выброса и сдвига рельсошпальной решетки, излома плети, угона плетей представлена в работах [1–4]. В их основу положено выражение (1), позволяющее определить вероятность отказа [5]:

$$V = \frac{1}{2} + \Phi \left( \frac{O - (\bar{R} - \bar{Q})}{\sqrt{\hat{R} + \hat{Q}}} \right), \quad (1)$$

где  $\Phi$  – интеграл вероятности Гаусса;  $\tilde{R}$  – обобщенная сопротивляемость конструкции переходу в состояние отказа;  $\tilde{Q}$  – обобщенная нагрузка, вызывающая отказ конструкции;  $\bar{R}$  и  $\bar{Q}$  – математическое ожидание случайных величин  $\tilde{R}$  и  $\tilde{Q}$ ;  $\hat{R}$  и  $\hat{Q}$  – дисперсия случайных величин  $\tilde{R}$  и  $\tilde{Q}$ .

Приведенное выше соотношение позволяет определить вероятность наступления события, при возникновении которого происходит полный отказ работоспособности конструкции, что аналогично появлению отказов бесстыкового пути.

Для выполнения расчетов на основе представленных ранее работ был разработан программный продукт [6], позволяющий комплексно решать вопросы расчета и анализа эксплуатационной надежности бесстыкового пути по различным отказам при следующих входных параметрах:

- климатические условия и температура закрепления плети;
- конструкция верхнего строения пути, тип подвижного состава и режим его движения;
- наличие отступлений от норм устройства пути в части наличия неровностей геометрии рельсовой колеи, наличие отступлений от норм устройства пути в части наличия неисправностей элементов верхнего строения пути и балластного слоя.

Одним из входных параметров разработанного программного продукта является температура закрепления рельсовой плети, которая и является объектом данного исследования. Для расчетов с помощью разработанной программы и последующего анализа результатов были проанализировано 432 варианта эксплуатационных условий. Расчеты каждого сочетания условий эксплуатации проводились для вариантов температур закрепления от 10 до 50 °С.

Для сводного анализа полученных результатов расчета для всех вариантов была построена сводная тепловая карта количества опасных отказов (вероятность возникновения отказа – более 5 %) в различных эксплуатационных условиях (рисунок 1), на котором видно, что отказов с недопустимой величиной вероятности их образования не возникает при температурах закрепления рельсовой плети 25, 30 и 35 °С.

Таким образом, оптимальный интервал температуры закрепления рельсовой плети составляет 30±5 °С для всей сети дорог, что соответствует действующему нормативу (в действующей на данный момент Инструкции № 2544/р [7] для всех дирекций инфраструктур оптимальная температура закрепления плетей составляет 30 ± 5 °С, за исключением Северо-Кавказской, Юго-Восточной и Приволжской дирекций, где норма оптимальной температуры закрепления 35 ± 5 °С для повышения запаса устойчивости плетей от выброса).

Наименование состояния	tз = 10 °С		tз = 15 °С		tз = 20 °С		tз = 25 °С		tз = 30 °С		tз = 35 °С		tз = 40 °С		tз = 50 °С	
	выброс	поперечный сдвиг продольный сдвиг излом плети	выброс	поперечный сдвиг продольный сдвиг излом плети	выброс	поперечный сдвиг продольный сдвиг излом плети	выброс	поперечный сдвиг продольный сдвиг излом плети	выброс	поперечный сдвиг продольный сдвиг излом плети	выброс	поперечный сдвиг продольный сдвиг излом плети	выброс	поперечный сдвиг продольный сдвиг излом плети	выброс	поперечный сдвиг продольный сдвиг излом плети
всего превышений	108		63		27									4		24
Климат	субтропический	27		18		9								0		0
	умеренный	18		9		0								0		0
	Континентальный	27		18		9								0		3
	Резко континентальный	27		18		9								4		21
	морской	9		0		0								0		0
	муссонный	0		0		0								0		0
Масса поезда	до 6300т	36		21		9								0		6
	до 7500т	36		21		9								2		8
	свыше 7500т	36	0	21	0	9	0	0	0	0	0	0	0	2	0	10
	менее -9	36		21		9								2		18
Уклон	-9+9	36		21		9								0		6
	более 9	36		21		9								2		18
Планк длины	R = более 1200 м	0		0		0								0		0
	R = 650-1200 м	0		0		0								0		0
	R = 350-650 м	36		7		3								0		5
	R = менее 350 м	72		56		24								4		19
Состояние пути	хор	36		27		0								2		11
	Удовл.	72		36		27								2		13

Рисунок 1 – Сводный анализ отказов бесстыкового пути для всех расчетных вариантов

## Заключение

1 В настоящее время при назначении норм температуры закрепления рельсовых плетей не в полной мере учитываются факторы, влияющие на появление отказов бесстыкового пути.

2 На основе методик и алгоритмов расчетов вероятностей основных отказов, характерных для бесстыкового пути температурно-напряженного типа был разработан программный продукт, позволяющий определять влияние конструкции и состояния пути, климатических условий, типа подвижного состава и режима его движения на безопасность движения.

## Список литературы

- 1 Суслов, О. А. Определение вероятности выброса бесстыкового пути температурно-напряженного типа / О. А. Суслов // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 4 (46). – С. 50–56.
- 2 Суслов, О. А. Определение уровня риска сдвига рельсошпальной решетки бесстыкового пути / О. А. Суслов, В. А. Марийчук, Д. В. Овчинников // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 6 (60). – С.41–47.
- 3 Попова, М. Л. Оценка вероятностей возникновения изломов и их выявления рельсовыми цепями / М. Л. Попова, А. Н. Попов, С. В. Бушуев // Транспорт Урала. – 2021. – № 3 (70). – С. 8–14. – DOI: 10.20291/1815-9400-2021-3-8-14.
- 4 Суслов, О. А. Математические модели определения вероятностей отказов потери продольной и поперечной устойчивости, а также изломов рельсовых плетей бесстыкового пути температурно-напряженного типа/ О. А. Суслов, М. А. Гришина // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 3(105). – С. 54–61.
- 5 Ржаницын, А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.
- 6 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681336 Российская Федерация. Модуль программного обеспечения для расчетов вероятности отказов бесстыкового пути температурно-напряженного типа: № 2024669328 : заявл. 16.08.2024 : опубл. 09.09.2024 / О. А. Суслов, Д. В. Овчинников, М. А. Гришина, В. А. Трушкин; заявитель акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта».
- 7 Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути : Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 г. № 2544/р : вступ. в силу 01.07.2017 // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения : 29.08.2025).

УДК 625.04

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЫКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ШАРНИРНЫХ НАКЛАДОК

*О. А. СУСЛОВ, В. А. ТРУШКИН, М. А. ГРИШИНА*

*Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»),  
г. Москва, Российская Федерация*

Трещины, формирующиеся в шейке рельсов в области стыков от болтовых отверстий, которые, как известно, являются неизбежными концентраторами напряжений, соответствуют дефекту 53.1. Этот дефект относится к остродефектным рельсам, которые подлежат замене без промедления, поскольку представляют прямую угрозу безопасности движения из-за возможного разрушения под поездом или схода колёс с рельс. Количество данных дефектов ежегодно поддерживается на высоком уровне по статистике изъятий остродефектных рельсов (ОДР) на участках с большой грузонапряженностью и суровыми климатическими условиями.

Помимо основных концентраторов напряжений – отверстий в шейке рельса, также можно отметить воздействие на рельс клиновидной конструкции накладок с применением высокопрочных болтов. Момент затяжки 1100 Н·м является целесообразным решением в условиях эксплуатации Восточного полигона [1], однако при использовании стандартной клиновой конструкции стыка вертикальные растягивающие напряжения в шейке рельса, в совокупности с постоянной поездной нагрузкой, могут приводить к усталостным разрывам по дефектам 53.1

В исследованиях [1, 6] приведена конструкция стыка с накладками шарнирного типа, представленная на рисунке 1, а.

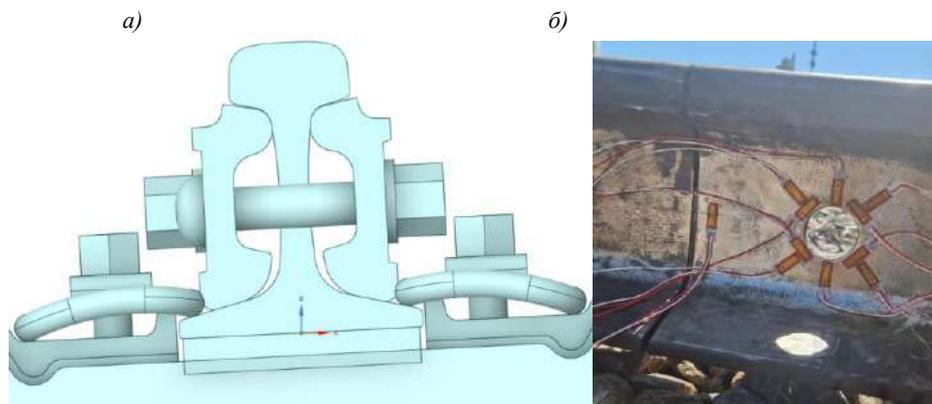


Рисунок 1 – Внешний вид стыка с накладками шарнирного типа:  
а – вид с торца; б – вид сбоку