



Рисунок 2 – Технологическая схема приготовления асфальтобетонной смеси типа Б с добавкой резиновой крошки по сухому методу

Модификация смеси резиновой крошкой приводит к увеличению стоимости производства работ на 2,5 %. Эффективность предложенного варианта объективно может быть оценена на опытном участке, так как стандартные методы испытаний асфальтобетонов не в полной мере отражают реальную работу материала в покрытии.

Список литературы

- 1 Климатическая характеристика 2024 года // Pгода.by. – URL : <https://pogoda.by/information/news/22887> (дата обращения : 21.04.2025).
- 2 **Смирнов, Н. Р.** Изменение климатических характеристик и их влияние на дорожную деятельность в Республике Беларусь / Н. Р. Смирнов // Наука – транспортной инфраструктуре : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, студентов и учащихся колледжей, Гомель, 21 марта 2025 г. – Гомель : БелГУТ. – 2025. – С. 115–116. – EDN RGIFKO.
- 3 **Серова, О. В.** Анализ применимости современных технологий ремонта и борьбы с колееобразованием на дорогах / О. В. Серова, В. С. Герасимов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 10–1. – С. 102–106. – EDN WWHSCD.

УДК 625.142.44

ЗАВИСИМОСТЬ УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛАХ ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРУЧЕНИЮ В УЗЛЕ АНКЕРНОГО РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ

Е. В. СОЛОМАТИН

ООО «Технология 69», г. Москва, Российская Федерация

Одним из критериев, обеспечивающих устойчивость рельсошпальной решетки бесстыкового пути против выброса, является повышение сопротивления рельсовых плетей продольному перемещению. Это особенно важно для исключения образования локальных участков пути, на которых сосредоточены избыточные значения продольных напряжений, превышающих критические значения.

Элементом рельсошпальной решетки, который отвечает в том числе за уменьшение возможности продольных перемещений плети, является узел промежуточного рельсового скрепления. Степенью прижатия рельсовой плети к шпале в основном и определяется сопротивление продольному перемещению.

Данный вопрос подробно исследовал профессор А. Я. Коган [1, 2]. Предложенный им математический аппарат взят за основы при исследовании роли рельсового скрепления в повышении устойчивости бесстыкового пути.

Для расчета критического значения продольного напряжения в плети за основу взята методика, учитывающая взаимосвязь критической температурной силы в рельсе с размерами неблагоприятной неровности в кривых (в частном случае в прямой). Рассматривается равновесие элемента пути Δx размером, равным расстоянию между соседними шпалами.

Наихудшей формой начальной неровности пути в плане является периодическая неровность с критической частотой и неограниченным числом периодов.

Практически периодической неровности на интервале $-\infty < x < \infty$ в пути не бывает. Однако наличие хотя бы одного периода неровности критической длины следует (с учетом запаса) рассматривать как опасное состояние бесстыкового пути по условию его устойчивости. Поэтому к рассмотрению принимается случай, когда на критической длине L_k укладывается полный период косинусоидальной (синусоидальной) неровности с амплитудой C_6 .

Предлагается следующий алгоритм определения коэффициента безопасности по условию выброса пути с учетом его продольно-напряженного состояния и фактического положения в плане:

1 В качестве исходного значения принимаем продольную силу N , полученную по данным вагона-путеизмерителя.

2 По графику $L_k=L(N_k)$ находим значение длины неровности L_k , соответствующее этой продольной силе.

3 По графику $C_{6к}=C_{6к}(L)$ находим значение амплитуды неровности, соответствующее этой длине неровности для конкретного радиуса или для прямой.

4 Неровность пути в плане, получаемую по данным вагона-путеизмерителя, (или ее кривизну) на интервале $x - L_k \leq x_0 \leq x$ раскладываем в ряд Фурье. Например, для кривизны имеем:

$$K(x, x_0) = \frac{b_0}{2} + a_1 \sin \omega x_0 + b_1 \cos \omega x_0 + a_2 \sin 2\omega x_0 + b_2 \cos 2\omega x_0 + \dots, \quad (1)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{L_k}, \quad (2)$$

где $b_0/2$ – постоянная составляющая кривизны; $a_1, a_2, \dots, a_i; b_1, b_2, \dots, b_i$ – коэффициенты ряда Фурье, зависящие от координаты x ; x – текущая координата; L_k – длина неровности принятая по графику $L_k=L(N_k)$,

$$a_i = \frac{2}{L_k} \int_{x-L_k}^x K(x_0) \sin i\omega x_0 dx_0, \quad (3)$$

$$b_i = \frac{2}{L_k} \int_{x-L_k}^x K(x_0) \cos i\omega x_0 dx_0. \quad (4)$$

Коэффициенты a_i и b_i можно определить по формуле Бесселя

$$a_i = \frac{2 \cdot \sum K_n \sin(\omega \cdot x_0)}{n}, \quad (5)$$

$$b_i = \frac{2 \cdot \sum K_n \cos(\omega \cdot x_0)}{n}, \quad (6)$$

где n – число точек на интервале $0 \dots L_k$.

Амплитуда основного тона кривизны определяется по формуле

$$C_k = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}, \quad (7)$$

тогда фактическая амплитуда бытовой неровности будет иметь вид

$$C_6 = \frac{C_k}{\omega^2} = \frac{L_k^2}{4\pi^2} C_k. \quad (8)$$

При разложении в ряд Фурье самой неровности операцию двойного интегрирования, сводящуюся к умножению амплитуды основного тона на множитель ω^2 , производить не требуется.

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 Φ – 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} .