

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ

Наведена методика визначення допустимих напружень в рейках на основі аналізу їх одиночного виходу з колії. Пропонується диференціація допустимих напружень в рейках залежно від категорії лінії.

Предложена методика определения допустимых напряжений в рельсах на основании анализа их одиночного изъятия из пути. Предлагается дифференциация допустимых напряжений в рельсах в зависимости от категории пути.

The article suggests a technique of determining admissible efforts in rails on the basis of the analysis of random removal of a rail from track. The differentiation of admissible efforts in rails is offered depending on a category of track.

На даний час в існуючих правилах розрахунку колії на міцність [1] допустимі напруження в рейках для ланкової колії ( $[\sigma] = 240$  МПа) встановлені однозначно для всіх категорій колії. Положенням про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України (ЦП/0113) [2] головні колії поділяються на 7 категорій залежно від вантажнонапруженості та встановленої швидкості руху. Доцільно розглянути, як змінюється величина допустимих напружень в рейках залежно від вантажнонапруженості та встановленої швидкості руху. Також дане «Положення» встановлює умови призначення ремонтно-колійних робіт для цих категорій по основному критерію (пропущений тоннаж) та додаткових критеріях (одиночний вихід рейок).

Періодичність ремонтів залежить від допустимої величини одиночного виходу рейок, яка встановлена для певної категорії колії. Тобто існує диференціація норм залежно від категорії колії. Щоб забезпечити періодичність ремонтно-колійних робіт, встановленої «Положенням», потрібно враховувати навантаження від рухомого складу протягом нормованого періоду експлуатації. З цього слідує, що чим вища категорія колії, тим швидше накопичуються деформації в її елементах. Зв'язавши допустиму величину одиночного виходу рейок з напруженнями в рейках, можна отримати допустиму величину напружень для кожної категорії колії.

Головним критерієм оцінки міцності колії є допустимі напруження в рейках. На нашу думку та думку інших вчених [3] допустимі значення напружень наведені в правилах [1] є необхідною умовою, але не є достатньою. Позначимо допустимі напруження в рейках за достатньою умовою як  $[\sigma_p]_{д,у}$  – це допустимі напруження визначенні з умов не перевищення

допустимої кількості відмов рейок, а за необхідною умовою  $[\sigma_p]_{н,у}$ . Допустимі напруження в рейках  $[\sigma_p]_{н,у}$ , прийняті як допустимі напруження розтягу в кромках підшви рейки за рахунок її згину і кручення під дією вертикальних і горизонтальних сил від рухомого складу, вирішують тільки першу задачу оцінки міцності.

В інших дослідженнях було запропоновано перейти від нормування допустимих напружень по границі текучості до нормування допустимих напружень в рейках при роботі на витривалість [4]. При цьому умовна межа витривалості при роботі на згинаючі деформації розрахована в лабораторних умовах і не враховує термін та умови експлуатації саме в колії в реальних умовах. Оскільки в реальних умовах рейки зазнають не тільки згин, а витримують складні деформації, то пропонується при визначенні допустимих напружень в рейках використовувати розрахунок за показниками надійності, тому що вони відображають реальні напруження в рейках безпосередньо в колії. Тому, щоб вирішити другу задачу – достатню умову міцності, потрібно враховувати термін та умови експлуатації. Виходячи з цього пропонується розраховувати допустимі напруження в рейках враховуючи додаткові критерії. Отже  $[\sigma_p]_{д,у}$  – це функція, яка залежить від умов експлуатації, характеристик рейок, допустимого значення інтенсивності відмов рейок.

Диференціація допустимих напружень в рейках повинна бути залежною від категорії колії. Також опираючись на досвід ВНИИЖТу [5], доцільно розділити допустимі напруження для вагонів і локомотивів.

Враховуючи дві умови – достатню і необхідну, умова міцності прийме такий вигляд:

$$\sigma^{\text{розр}} \leq [\sigma_p]_{\text{д.у}} \leq [\sigma_p]_{\text{н.у}}, \quad (1)$$

де  $\sigma^{\text{розр}}$  – розрахункові напруження в рейках.

В основу даної роботи покладена методика визначення допустимих напружень в рейках [5]. До даної методики запропоновано ряд інших величин, які розглянуто нижче.

Допустимі напруження в рейках по достатній умові  $[\sigma_p]_{\text{д.у}}$ :

$$[\sigma_p]_{\text{д.у}} = f(Kt; [\lambda]), \quad (2)$$

де  $Kt$  – категорія колії згідно [2];  $[\lambda]$  – допустима інтенсивність відмов рейок, для кожної категорії колії встановлена [2]. Допустимий одиночний вихід рейок (кількість дефектних місць) змінюються 3...12 шт/км.

В свою чергу інтенсивність відмов рейок  $\lambda$  – функція, яка залежить від багатьох факторів, що було розглянуто в роботі [6]. В результаті факторного аналізу виділено фактори, які значно впливають на інтенсивність відмов рейок – напруження, що виникає в рейках (а напруження залежать від осьового навантаження), пропущений тоннаж, фактична швидкість, та кривизна колії.

Умову не перевищення допустимої інтенсивності відмов залежно від прийнятих факторів можна записати у вигляді:

$$\lambda = \phi(\sigma; T; K; V) \leq [\lambda], \quad (3)$$

де  $\sigma$  – діюче напруження ( $P$  – навантаження, кН) в рейці під час проходження рухомого

$$[P] = \sqrt[n]{\frac{(E+FT) \sqrt{2 \ln \frac{1}{[\lambda] \sqrt{2\pi} (E+FT)^2}}}{B} - \frac{TA+CV^2+DK}{B}}. \quad (6)$$

Допустимі напруження за достатньою умовою  $[\sigma_p]_{\text{д.у}}$  можна подати у вигляді рівняння, перейшовши від навантажень до напружень

$$[\sigma_p]_{\text{д.у}} = \gamma [P], \quad (7)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт переходу від навантажень до напружень.

У результаті отримуємо  $[\sigma_p]_{\text{д.у}}$  – допустимі напруження в рейках, з умови не перевищення допустимої кількості відмов рейок за період нормативного напрацювання. Для безстикової конструкції колії допустимі напруження дорівнюють

складу, МПа;  $T$  – пропущений тоннаж, млн т бруто;  $K$  – кривизна колії, 1/м;  $V$  – фактична швидкість руху рухомого складу, км/год.

На відміну даної роботи в методиці [5] розглядаються два параметри – пропущений тоннаж та напруження в рейках під час проходження рухомого складу. Також двопараметричний критерій міцності  $h$  [5] поданий як добуток двох простих функцій (степеневих).

В явному вигляді інтенсивність потоку відмов рейок для різних типів відмов можна подати різними законами розподілу [7]. Згідно з статистикою найбільше поширені відмови контактнотомленого характеру. Тому пропонується взяти нормальний закон розподілу відмов, і функція інтенсивності відмов прийме такий вигляд:

$$\lambda(T, P, K, V) = \frac{e^{\left[ \frac{-(T-A+BP^n+CV^2+DK)^2}{2(E+FT)^2} \right]}}{\sqrt{2\pi} (E+FT)^2}, \quad (4)$$

де  $A, B, C, D, F, n$  – коефіцієнти апроксимації.

Невідомі коефіцієнти ( $A, B, n, C, D, E, F$ ) отримані на підставі зібраних даних про відмови рейок на дослідних ділянках [6] за методом найменших квадратів.

Прирівнявши рівняння (4) до  $[\lambda]$ , і обчисливши відносно осьового навантаження  $P$ , отримуємо допустиме значення навантаження  $[P]$

$$\frac{e^{\left[ \frac{-(T-A+BP^n+CV^2+DK)^2}{2(E+FT)^2} \right]}}{\sqrt{2\pi} (E+FT)^2} = [\lambda], \quad (5)$$

$$[\sigma_p]_{\text{д.у}}^{\text{бк}} = [\sigma_p]_{\text{д.у}}. \quad (8)$$

Для ланкової – потрібно відняти температурні напруження, які не враховуються розрахунком. Тому для тих категорій колії, що передбачають ланкову конструкцію колії, допустимі напруження можна обчислити за формулою

$$[\sigma_p]_{\text{д.у}}^{\text{лк}} = \frac{[\sigma_p]_{\text{д.у}} - \sigma_t}{K_3}, \quad (9)$$

де  $\sigma_t$  – температурні напруження в рейках;  $K_3$  – коефіцієнт запасу. Розрахунок  $\sigma_t$  наведений в [8].

У результаті даних досліджень можна зробити висновок, що допустимі напруження в рейках залежать від терміну та умов експлуатації. Диференціювання по категоріях колії дасть можливість для колій з меншою вантажо-напруженістю встановити більші значення допустимих напружень в рейках. Також важливим пунктом є розподіл напружень для локомотивів та вагонів, для локомотивів більші значення внаслідок меншої долі участі їх у вантажообігу. Результати обчислень допустимих напружень в рейках залежно від категорії колії будуть наведені в наступних публікаціях.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Правила производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность. Литограф. изд. МПС, 1954.
2. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП/0113. – К., 2004. – 32 с.
3. Вериго М. Ф. Основы методики статистической оценки прочности пути с учетом грузонапряженности / М. Ф. Вериго, В. С. Лысюк // Тр. ВНИИЖТ, 1972. – Вып. 466, – С. 51–67.
4. Вериго М. Ф. Общие предпосылки для корректировки правил расчетов пути на прочность и предложения по изменению этих правил / М. Ф. Вериго, С. С. Крепкогорский // Тр. ВНИИЖТ, 1972. – Вып. 466. – С. 4–50.
5. Лысюк В. С. Прочный и надежный железнодорожный путь / В. С. Лысюк, В. Н. Сазонов, Л. В. Башкатова. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003 – 589 с.
6. Рыбкин В. В. Планирование эксперимента для определения интенсивностей отказов рельсов / В. В. Рыбкин, Е. М. Баль // Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований: Труды научно-технической конференции. – М.: МИИТ, 2004. – С. IV–31.
7. Рибкін В. В. Визначення законів розподілу інтенсивностей відмов рейок / В. В. Рибкін, О. М. Баль // Проблеми механіки залізничного транспорту: Динаміка, прочность и безопасность движения подвижного состава: XI Международная конференция. Тезисы докладов. – Д.: Изд-во Полный компьютерный сервис, 2004. – 200 с.
8. Даніленко Е. І. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, М. Д. Костюк и др. – К.: Транспорт України, 2002. – 101 с.

Надійшла до редколегії 09.02.05.