
ЗАЛІЗНИЧНІ СПОРУДИ ТА КОЛІЙНЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 625.033

*Канд. техн. наук А.М. Штомпель,
О.І. Черниш, С.І. Бадай*

**ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ПІДШПАЛЬНОЇ ОСНОВИ
БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ**

Представив д-р техн. наук, професор А.А. Плугін

Постановка проблеми у загальному вигляді. Конструкція безстикової колії (БК) складається з рейко-шпальної решітки (РШР) та підшпальної основи (ПО). Остання містить баластовий шар та певну (робочу) зону земляного полотна (ЗП), до якого належить його (ЗП) верхня частина, що безпосередньо сприймає навантаження від верхньої будови колії (ВБК) та рухомого складу (РС) і передає ці навантаження на тіло насипу (або основу виїмки).

Основні показники стану БК (зокрема параметри геометрії рейкової колії), відхилення від нормативного положення рейкових ниток у профілі й плані напряму залежать від несучої здатності ПО, тобто від її деформативних властивостей.

У даному дослідженні під деформативністю ПО розглядається здатність функціонування ВБК в умовах обмеження до певного рівня темпу (швидкості) накопичення несправностей (розладів) рейкової колії (РК).

Вимоги [1] визначають, що "усі елементи залізничної колії... за ... станом мають забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів із швидкостями, встановленими на даній ділянці", тобто конструкція БК повинна бути надійною (а геометрія РК – стабільною) протягом всього її «життєвого» циклу.

Виходячи з вищевизначеної вимоги щодо забезпечення довговічності (як показника надійності) функціонування конструкції БК в процесі її експлуатації, питання оцінки деформативності ПО колії набувають певної актуальності. Окрім того, потреба відповідних досліджень у цьому напрямку обумовлюється зростанням інтенсивності експлуатації ВБК, що спостерігається на сучасному етапі [2].

Аналіз основних досліджень з даної проблеми. Питанню оцінки деформативності підшпальної основи (через накопичення залишкових деформацій рейкової колії) в процесі експлуатації БК присвячена низка наукових праць, серед яких слід відмітити [3-4]. Ці дослідження базувалися на статистичному аналізі відповідних експериментальних даних, що були отримані під час натурних спостережень за роботою ВБК на дослідних ділянках, й дозволили встановити певні залежності появи несправностей геометрії РК при напрацюванні тоннажу.

Визначений напрямок (оцінка деформативності ПО) наукових досліджень знайшов свій розвиток, зокрема, у роботах [5-7], де запропоновано математичні моделі накопичення залишкових деформацій РК (у профілі та плані) у процесі експлуатації БК.

Матеріали досліджень, що викладаються нижче, пов'язані з науковими розробками [7].

Мета даної статті полягає в оцінці деформативності (у вертикальній площині) підшпальної основи безстикової колії під дією поїзного навантаження.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відомо, що деформативність ПО характеризується коефіцієнтом постелі $C_{\text{бал}}$, величина якого визначається за формулою

$$C_{\text{бал}} = \sigma_{\text{бал}} / y, \quad (1)$$

де $\sigma_{\text{бал}}$ – напруження, що виникають у баласті під шпалою при дії динамічної сили $Q_{\text{дин}}$;

y – прогин рейки під колесом РС.

Параметри $Q_{\text{дин}}$, $\sigma_{\text{бал}}$ та y визначаються згідно з існуючою методикою [8] за формулами

$$Q_{\text{дин}} = 0,5 k_{\text{шп}} P_{\text{екв}}, \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{бал}} = 2 Q_{\text{дин}} / ab\alpha, \quad (3)$$

$$y = 0,5kP_{\text{екв}} / U_{\text{верт}}, \quad (4)$$

де $P_{\text{екв}}$ – еквівалентне навантаження, що передається на рейки від коліс РС;

k – коефіцієнт відносної жорсткості основи і рейки;

$l_{\text{шп}}$ – відстань між осями шпал;

a, b – довжина шпали та ширина її нижньої постелі;

α – коефіцієнт, що враховує вигин шпали під силою $Q_{\text{дин}}$;

$U_{\text{верт}}$ – вертикальний модуль пружності підрейкової основи.

Жорсткість ПО згідно з встановленими правилами [8] розраховується за формулою

$$J_{\text{по}} = 0,5 ab\alpha C_{\text{бал}}. \quad (5)$$

У даному дослідженні значення параметра $J_{\text{по}}$ встановлюється для конструкції БК з такими характеристиками: рейки типу Р65; залізобетонні шпали з епюрою 1840 шт./км; проміжне скріплення типу КБ; щебеневий баласт. У якості динамічного навантаження на колію розглядається дія 4-вісного вантажного вагона, що рухається зі швидкістю 60 км/год.

Результати виконаних розрахунків наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунковий параметр	Величина розрахункового параметра							
	20	50	70	100	150	200	250	300
$U_{\text{верт}}$, МПа	20	50	70	100	150	200	250	300
$C_{\text{бал}}$, кг/см ³	3,27	8,09	11,28	16,92	24,20	32,38	39,43	49,67
$J_{\text{по}}$, кН/мм	110,5	273,5	381,5	572,0	818,0	1094,5	1333,0	1679,0

Відповідна обробка наведених даних дозволила встановити (для $U_{\text{верт}} \geq 50$ МПа) такі залежності:

$$C_{\text{бал}} = 0,162 U_{\text{верт}}, \quad (6)$$

$$J_{\text{по}} = 5,5 U_{\text{верт}} - 5, \quad (7)$$

$$J_{\text{по}} = 33,95 C_{\text{бал}} - 5. \quad (8)$$

Видно, що при підвищенні параметра $U_{\text{верт}}$ за лінійним законом зростають вертикальна жорсткість ПО та її коефіцієнт постелі.

Напружено-деформований стан елементів ВБК певною мірою визначається рівнем жорсткості ПО. Так, чим вище значення параметра $J_{\text{по}}$, тим нижче напруження, які виникають у підшві рейок, та менший їх (рейок) прогин під

колесами РС. І навпаки, при зниженні жорсткості ПО зростають і прогин рейки під колісним навантаженням, і напруження, що з'являються в рейках, але при цьому зменшуються тиск на шпалу й, як наслідок, напруження на поверхні баластового шару (під шпалою).

Динамічна дія коліс РС на рейки в процесі експлуатації БК поступово призводить до нерівномірної жорсткості ПО (через певні властивості складових цієї основи). Як правило, нерівножорсткість ПО супроводжується появою люфтів (зазорів) між нижньою постіллю шпал та баластовим шаром.

За діючою методикою [8] при оцінці напружено-деформованого стану ВБК рейка "розглядається як балка нескінченної довжини..., що вільно лежить на суцільній

рівнопружній основі...", тобто без урахування можливої наявності люфтів між шпалами та баластом.

У роботі [9] зазначається, що й при нерівнопружній ПО (з достатньою для практичних розрахунків точністю) можна застосовувати вказану модель ВБК, але з умовним модулем пружності підрейкової основи, значення якого відрізняється (у менший бік) від величини параметра $U_{\text{верт}}$, що встановлюється за стандартною методикою без врахування наявності зазору між шпалою та баластом.

При цьому пропонується (за рівнем жорсткості ПО) відповідна градація колії (див. табл. 2), яка базується на залежності $y = f(P_{\text{екв}})$ з певним обмеженням параметра y .

Таблиця 2

Варіант ВБК за жорсткістю ПО	Функція $y = f(P_{\text{екв}})$, мм/кН	Граничне значення прогину рейки [y], мм
«жорстка» колія*	$y = 0,0167 P_{\text{екв}}$ (9)	до 2
«м'яка» колія*	$y = 0,0706 P_{\text{екв}}$ (10)	до 8
«жорстка» колія за наявності люфта*	$y = 0,1176 P_{\text{екв}}$ (11)	до 14

Примітка: * - термінологія взята з [9].

Правилами [8] із умови обмеження інтенсивності накопичення залишкових деформацій у РК встановлено допустимі напруження $[\sigma_{\text{бал}}]$, що можуть виникати в баластовому шарі під шпалою від поїзного навантаження. Для щебеневого баласту (розглядається дія вагонних коліс) ці напруження знаходяться в межах $[\sigma_{\text{бал}}] = 0,24 \div 0,4$ МПа залежно від вантажонапруженості ділянки колії (Γ).

Застосовуючи формули (1) й (5) та враховуючи значення $[\sigma_{\text{бал}}]$ й [y], можна встановити відповідні характеристики БК (вищевизначеної конструкції) з урахуванням умов її експлуатації (див. табл. 3).

Висновки з даного дослідження

полягають у такому:

1) жорсткість ПО є однією з основних характеристик ВБК й суттєво впливає на стан геометрії РК;

2) для прийнятих у дослідженні умов встановлено функціональні залежності між та $U_{\text{верт}}$ й $S_{\text{бал}}$, а також визначено граничні значення параметра $J_{\text{по}}$ для конструкції БК з різними умовами її експлуатації;

3) подальший розвиток досліджень передбачає аналіз взаємозв'язку між жорсткістю підшпальної основи колії та стабільністю її геометрії.

Таблиця 3

Варіант ВБК за жорсткістю ПО (граничні значення [y])	Параметр	Величина параметра при Г, млн ткм бруutto / км за рік				
		>80	41-80	40-26	25-10	<10
«жорстка» колія ([y]=2 мм)	$[\sigma_{\text{бал}}]$, МПа	0,24	0,26	0,30	0,35	0,40
	$S_{\text{бал}}$, кг/см ³	12,0	13,0	15,0	17,5	20,0
	$J_{\text{по}}$, кН/мм	405,6	439,4	507,0	591,5	676,0
«м'яка» колія ([y]=8 мм)	$S_{\text{бал}}$, кг/см ³	3,0	3,25	3,75	4,38	5,0
	$J_{\text{по}}$, кН/мм	101,4	109,9	126,8	148,0	169,0
«жорстка» колія за наявності люфта ([y]=14 мм)	$S_{\text{бал}}$, кг/см ³	1,70	1,86	2,14	2,50	2,86
	$J_{\text{по}}$, кН/мм	57,5	62,9	72,3	84,5	96,7

Список літератури

1. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст] / затверджено наказом Міністерства транспорту України від 20.12.1996 р. № 411. – К., 2003. – 133 с.
2. Штомпель, А.М. Експлуатаційний вантажообіг на залізницях України у 2008-2011 роках та його вплив на конструкцію залізничної колії [Текст] / А.М. Штомпель / Матеріали междунар. науч.-практ. конференції "Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2011"// сб. науч. трудов SWorld. – Одесса: Черноморье, 2011. – Вып. 4, Т. 3. – номер ЦИТ: 411-0360. – С. 67-70.
3. Ершков, О.П. Анализ накопления остаточных деформаций рельсовых нитей в профиле и плане [Текст] / О.П. Ершков, А.А. Ильяшенко, Е.Д. Ткачев, Б.С. Шинкаренко // Тр. ВНИИЖТ, 1980. – Вып.628. – С.50-67.
4. Зак, М.Г. Теоретический анализ влияния расстройств рельсовой колеи на динамическое взаимодействие подвижного состава и пути и оценка неравножесткости рельсовых нитей [Текст] / М.Г. Зак, О.П. Ершков, Е.Д. Ткачев // Тр. ВНИИЖТ, 1980. – Вып. 628. – С.67-103.
5. Штомпель, А.М. Математична модель накопичення вертикальних деформацій залізничної колії в процесі експлуатації [Текст] / В.П. Шраменко, А.М. Штомпель // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 4. – С. 58-59.
6. Штомпель, А.М. Математична модель накопичення залишкових деформацій колії у плані при напрацюванні тоннажу [Текст] / В.П. Шраменко, О.О. Скорик, А.М. Штомпель // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вып. 122. – С. 261-265.
7. Штомпель, А.М. Деформативність підрейкової основи безстикової колії у вертикальній площині [Текст] / А.М. Штомпель // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вып. 125. – С. 103-107.
8. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Укрзалізниця, 2006. – 168 с.
9. Конюхов, А.Д. От нормирования и контроля жесткости подрельсового основания к ликвидации изломов рельсов по дефекту 69 [Текст] / А.Д. Конюхов // Вестник ВНИИЖТ. – 2000. – № 2. – С.5-11.

Ключові слова: деформативність, безстикова колія, вертикальна жорсткість колії, модуль пружності, підшпальна основа, коефіцієнт постелі, поїзне навантаження.

Анотації

Розглядаються питання, які стосуються оцінки деформативності (у вертикальній площині) підшпальної основи безстыкової колії під дією поїзного навантаження.

Рассматриваются вопросы, связанные с оценкой деформативности (вертикальной плоскости) подшпального основания бесстыкового пути под действием поездной нагрузки.

The problems associated with the assessment of deformability (vertical) podshpalnogo welded base path under the action of the train load.