

УДК 656.225.011

Г. М. Талавіра, к.т.н., доцент

(завідувач кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

ЗМІНА ПАРАМЕТРІВ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПРУЖНОСТІ ПІДШПАЛЬНОЇ ОСНОВИ В ЗОНАХ НЕРІВНОСТЕЙ ВЕРХНЬОЇ БУДОВИ КОЛІЇ ПРИ НЕДОСТАТНЬОМУ УЩІЛЬНЕННІ ГРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

У статті представлені аналітичні дослідження зміни коефіцієнта пружного стискання баласту під шпалами в зонах нерівностей рейкової колії при недостатньому ущільненні ґрунту верхніх шарів насипу.

Ключові слова: вертикальна пружність, підшпальна основа, підшпальні порожнини, динамічні навантаження, жорсткість підрейкової основи.

В статье представлены аналитические исследования изменения коэффициента постели шпал в зонах неровностей рельсового пути при недостаточном уплотнении грунта верхних слоев насыпи.

Ключевые слова: вертикальная упругость, подшпальная основа, подшпальные полости, динамические нагрузки, жесткость подрельсового основания.

Для розрахунків колії на вплив вертикальних динамічних навантажень потрібно мати досить достовірну модель колії та необхідно вміти правильно визначати розрахункові параметри вертикальної пружності верхньої будови колії. У відповідності з розрахунковою моделлю колії /1/ прийнято, що кожна рейкова нитка по всій довжині опирається на окремі пружні опори, які складаються з підкладки з прокладками, шпали, баласту й земляного полотна. Таку модель можна розглядати як «багатошаровий пиріг», який складається із конструкційних матеріалів із різними фізичними характеристиками.

Робота шпали під впливом навантажень, що передаються від рейок, слід розглядати як роботу балки обмеженої довжини, що лежить на суцільній рівнопружній основі (рис. 1).

Особливості рішення вказаної задачі, безумовно, залежать від даної схеми розташування рейкових ниток на пружних опорах основи. Алгоритм рішення даної задачі /1/ буде загальним для всіх схем розташування рейкових ниток і може бути прийнятий в наступному вигляді:

- 1) визначення пружних прогинів підрейкових опор під впливом одиничних сил, прикладених в підрейкових перетинах;
- 2) визначення сумарної точкової жорсткості підрейкової основи як шарової конструкції;

© Талавіра Г. М., 2016

3) визначення вертикального модуля пружності підрейкової основи, з урахуванням епюри розкладки шпал;

4) визначення сумарної жорсткості рейкових ниток, що працюють сумісно з підрейковою основою.

Прогини шпал знаходяться з рішення диференціального рівняння вигину балки обмеженої довжини, яка розташована на суцільній рівнопружній основі і завантажена системою зосереджених вертикальних сил.

Диференціальне рівняння вигину такої балки одержане академіком А.Н.Криловим у роботі [2] і має вигляд:

$$E_{III} I_{III} \frac{d^4 Z_{unn}}{dx^4} + U_{Z_{unn}} Z_{unn} = \sum_i^n Q_i \eta_i (x - a_i), \quad (1)$$

Одним із найголовніших розрахункових параметрів верхньої будови колії є коефіцієнт пружного стиснення баласту під шпалою (коефіцієнт постелі) СБ. Від нього залежать жорсткість рейкової нитки, модуль пружності колії і сумарна жорсткість точкових опор.

При розрахунку прогинів по рівнянню (1) використовується найчастіше вживана для розрахунку балок на суцільній пружній основі гіпотеза Фусса-Вінклера про лінійну залежність між тиском на основу σ_B і його осіданням $Z_{шп.}$.

$$\sigma_B = C_B \cdot Z_{шп.} \quad (2)$$

При цьому, як і в інших випадках розрахунку балок по цій гіпотезі, приймаються додатково допущення: про відсутність сил тертя між балкою і підстиляючим шаром і про пружний взаємозв'язок між балкою і основою при переміщеннях рейки у вертикальному напрямі.

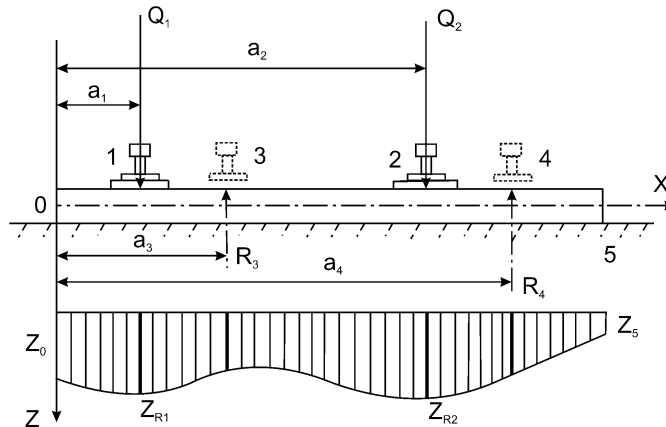


Рис. 1. Розрахункова схема роботи шпали, як балки на пружній основі

(рейки 3, 4 слід розглядати тільки при чотирьохнитковій рейковій колії).

Виходячи з розмірів підшпальних порожнин в зонах нерівностей можна зробити висновок, що порожнини під шпалами є ніщо інше ніж характерні зони дії

пружної роботи підшпальної основи, котрі в процесі експлуатації, дій кліматичних факторів та засмічування баласту переросли в зони остаточних непружних деформаційних навантажень.

Прогини точкових опор (шпал) під дією вертикальних колісних навантажень прямо пропорційно залежать від вертикальної жорсткості точкової опори, та якщо прогини шпал по довжині рейкової нитки різні – це свідчить про зміну жорсткості точкових опор.

Розмір пружної просадки шпали в підрейковому перерізі визначається з виразу:

$$Z_{пун} = \frac{2Q}{C_б \cdot F} \quad (3)$$

На основі формули (3) можна зробити висновок, що при навантаженні шпали вертикальними силами Q , від рухомого складу, розмір пружної просадки під шпалами, залежить від величини коефіцієнта пружного стискання баласту під шпалою $C_б$ та ефективної опорної площі основи шпали $F = a \cdot b$. В тому випадку, коли величини просадок шпал, послідовно розташованих на довжині рейки, будуть різними при практично незмінних значеннях навантаження $2Q$ та геометричних розмірах подошви шпали a і b та коефіцієнта вигину шпал – це свідчить про зміну величини $C_б$. Збільшення за значенням остаточних деформацій в n разів на ділянках нерівностей колії, порівняно з типовою (базовою) конструкцією колії можливо з деяким наближенням кваліфікувати як дію збільшених в n разів пружних деформацій.

Згідно з [1] при розрахунку прогинів рейки, як балки на суцільній рівнопружній основі за гіпотезою Фуса-Вінклера по лінійній залежності між тиском на основу $\sigma_б$ та її осадкою Z (див. фор. 2) коефіцієнт постелі $C_б$ можна знайти по цій залежності.

При цьому при розрахунку просадок шпал можна прийняти такі допущення:

- відсутність сил тертя між балкою та підстилаючим шаром.
- у пружному взаємному зв'язку між балкою та основою при переміщенні рейки в вертикальному напрямку.

Для спрощення розрахунків введемо позначення:

$\epsilon_{БІ}$ – тиск на підшпальну основу при типовій (базовій) конструкції колії;

$\epsilon_{БП}$ – тиск на підшпальну основу в зонах нерівностей;

$Z_{БІ}$ – просадка шпали в підрейковому перетині в типовій (базовій) конструкції колії;

$Z_{БП}$ – просадка шпали в підрейковому перетині в зонах нерівностей;

$C_{БІ}$ – коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою при типовій конструкції колії;

$C_{БП}$ – коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою в верхній будові колії в зонах нерівностей.

Рухомий склад, який обертається на залізницях України, та розглянутий в розрахунках приймається однаковим для розрахунків переїзду по нерівностях для типового (базового) комплексу верхньої будови колії та конструкції колії, тобто можна прийняти:

$$\epsilon_{БІ} \approx \epsilon_{БП}; C_{БІ} \approx C_{БП} \quad (4)$$

За матеріалами натурних досліджень приймаємо: $Z_{БП} > Z_{БІ}$ в n разів.

Тому, з урахуванням формули (3), отримуємо, що коефіцієнт пружного стискання баласту також повинен змінюватись у такій же пропорційності: $С_{БП} < С_{БІ}$, також в n разів.

Таким чином, прийнявши окремо по кожній шпалі, яка попадає в зону нерівностей, свій, зменшений в n разів відносно типової (базової) конструкції коефіцієнт постелі шпали $С_{БІ}$. Можна розрахунковим шляхом за методикою [1] визначити величини напружень, які передаються на баласт ϵ_B , та визначити розрахункові значення просядок шпал $Z_{БП1}$, $Z_{БП2}$, $Z_{БП3}$... і т. д.

Виходячи з формули (2) величина пружного осідання баласту під шпалою ($Z_{БІ} = Z_{шп}$):

$$Z_{Бі} = \frac{\epsilon_{Бі}}{C_{Бі}} \quad (5)$$

Для типової (базової) конструкції колії визначаємо величину нормальних напружень σ_h на основній площадці земляного полотна за формулою:

$$\sigma_h = \sigma_{h_p} + \sigma_{hc_2} + \sigma_{hc_3}, \quad (6)$$

В результаті проведених розрахунків отримано $\sigma_h = 0,055 \text{ МПа}$.

Коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою для базової конструкції колії C_B прийнято рівним 20 кг/см^3 [1].

Розмір пружного осідання баласту під шпалою для базової конструкції колії відповідно до виразу (5) складає:

$$Z_{Бі} = \frac{1,85}{20} \approx 0,092 \text{ см}$$

Слід рахувати, що така величина остаточної сумарної пружної просядки під шпалою 10 мм є наслідком довготривалих одиничних пружних просядок, отриманих від проходу одиничного колеса та рівних $Z_{Бі} \approx 0,92 \text{ мм}$.

Для порівняльних розрахунків приймаємо 3 характерні точки на нерівності, які були знайдені за матеріалами натурних досліджень, що знаходяться на Південно-Західній залізниці. Геометричні параметри нерівності отримані геодезичними засобами без поїзного навантаження. Номери шпал проставлялись від задньої стінки стояну мосту (орієнтир) в бік перегону.

1- (шпала №14) – на початку передмостової нерівності зі сторони перегону. типова (базова) колія;

2- (шпала №7) – найбільшого значення сумарного пружного стискання баласту;

3- (шпала №2) – коло межі ділянки колії з передмостовою нерівністю і початком мосту (див. рис. 2).

Збільшення сумарної пружної деформації баласту під шпалами №7 і №2 відносно типової (базової) конструкції колії (шпала №14) відбувається за такими залежностями:

$Z_{62} > Z_{61}$ на шпалі №2 в 1,3 раза,

$Z_{63} > Z_{61}$ на шпалі №7 в 2,1 раза.

Звідки можна зробити висновок, що має бути:

$C_{62} < C_{61}$ на шпалі №2 в 1,3 раза,

$C_{63} < C_{61}$ на шпалі №7 в 2,1 раза.

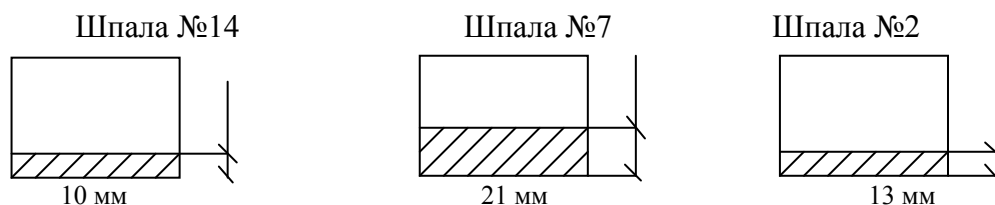


Рис. 2. Розподіл порожнин під шпалами на характерних точках нерівності

Таким чином, використовуючи експериментальні дані приймаємо значення C_{61} , C_{62} , C_{63} , C_{64} , ... і т.д., знаючи значення σ_n – величину нормальних напружень на основній площадці земляного полотна можна перевірити розрахунковим шляхом величини пружних просадок шпал на нерівності.

Пружні просадки під шпалами збільшуються завдяки зменшенню коефіцієнта постелі шпал та утворюють порожнини. Значення коефіцієнта вигину шпал в розрахунках не враховується у зв'язку досить малим відсотком зміни його значень.

Виходячи з результатів розрахунків по пружним просадкам шпал в зоні нерівності можна зробити висновок, що збільшення їх значень відносно базової конструкції колії при приблизно постійному колісному навантаженні від рухомого складу насамперед залежать від послаблення під шпалами коефіцієнта постелі C_6 в зоні нерівності. Можливо це обумовлено тим, що основа під шпалою в баласті на ділянках нерівностей більш слабка, чим на базовій конструкції колії. Слабкість основи може бути обумовлена особливостями конструкції верхньої будови колії в цій зоні. На нерівності по трьох характерних точках (шпали №2, №7, №14) за вищезгаданим припущенням та проведеними підрахунками коефіцієнт постелі змінюється в наступному порядку: шпала №2 – $C_6 = 15,3 \text{ кг/см}^3$; шпала №7 – $C_6 = 9,5 \text{ кг/см}^3$; шпала №14 – $C_6 = 20 \text{ кг/см}^3$. Така досить велика розбіжність свідчить про досить приближене значення величини коефіцієнта C_6 в довідковій літературі, в якій він наводиться на основі середніх експериментальних даних, виконаними різними вченими.

Результати розрахунків параметрів верхньої будови колії при проходженні рухомим складом представленої нерівності наведений в табл. 1.

Таблиця 1. Розрахунок параметрів верхньої будови колії при проходженні рухомим складом нерівності

Параметр	Базова колія	Шпала №2 нерівності	Шпала №7 нерівності
Коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою C_b , кгс/см ³	20	15,3	9,52
Величина остаточних деформацій баласту під шпалою (натурні) $Z_{пор}$, см	1,0	1,3	2,1
Пружна просадка баласту під шпалою (розрахункова) $Z_{пш}$, см	0,09	0,113	0,18
Напруження під шпалою σ_b , кгс/см ²	1,8	1,73	1,71
Величина пружної просадки ґрунту основної площадки земляного полотна λ , см	0,045	0,056	0,09
Модуль пружності під шпальною основи $U_{z_{пш}}$, кгс/см ³	550	420,75	261,8
Напруження на основній площадці земляного полотна σ_h , кгс/см ²	0,0055	0,0062	0,0069

Висновки

1. Запропоновані аналітичні розрахунки дозволяють оцінити зменшення пружних параметрів колії при наявності остаточних деформацій під шпалами.
2. При зменшенні коефіцієнта пружного стискання баласту під шпалою C_b на 23% і 52%; величина пружних осадок під шпалою збільшилась відповідно на 20% і 50%, величина пружної просадки ґрунту основної площадки земляного полотна на 19,6% і 50% (тобто практично пропорційно), а напруження на основній площадці збільшились відповідно на 11,2% та 20,2%, що в 2 рази менше.
3. Пружне стискання підшпальної основи в зоні нерівності складається з двох показників: пружного стискання щебеневого баласту та пружного стискання верхніх шарів ґрунту насипу. Одним із факторів, який впливає на зменшення коефіцієнта пружного стискання баласту під шпалою C_b є величина пружних осадок верхніх шарів ґрунту насипу, тому що пружні осадки ґрунту поступово переходять в остаточні за період експлуатації мостового переходу, що позитивно впливає на процес появи нерівності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Даніленко Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
2. Тимошенко С. П. Прочность и колебания элементов конструкции // М.: Наука, 1975. – 705 с.
3. Клинов С. И. Железнодорожный путь на искусственных сооружениях // М.: Транспорт, 1990. – 144 с.
4. Клинов С. И. Переходной путь // Путь и путевое хозяйство. – 1997. – №7. – С. 26–27.
5. Шахуняц Г. М. Определение коэффициента упругого сжатия подрельсового основания // Путь и путевое хозяйство. – 1972. – №3. – С. 28–31.
6. Дяченко Л. І. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України / Л. І. Дяченко, Г. П. Кислий, В. О. Курач. – Д.: Вид-во АТЗТ ВКФ «Арт – Прес», 2001. – 104 с.

***Gennadij M. Talavira, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Head of Building Constructions and Structures Chair, State University
for Transport Economy and Technologies)***

CHANGE SETTINGS VERTICAL ELASTICITY OF BALLAST UNDER THE SLEEPERS IN RAIL TRACK IRREGULARITIES AREAS WITH INSUFFICIENT COMPACTION OF ROADBED

The article presents analytical study variation of elastic compression ballast under the sleepers in the areas of rail track irregularities in low soil compaction upper layers of the embankment.

Keywords: vertical resiliency, under sleepers basis, under sleeper cavity, dynamic load, rigidity under rail base.

REFERENCES

1. E. I. Danilenko Pravila rozrahunkiv zaliznichnoi kolii na mitsnist i stiykyst [Regulations railway line calculations for strength and stability] / E. I. Danilenko, V. V. Rybkin. – K.: Transport Ukraine, 2006. – 168 p.
2. S. P. Tymoshenko Prochnist i kolebania elementov konstrukcii [The strength and vibrations of structural elements] // M.: Nauka, 1975. – 705 p.
3. S. I. Klinov Zheleznodorozhnyj put na iskusstvennyh sooruzjeniah [Railway track on artificial structures] // M.: Transport, 1990. – 144 p.
4. S. I. Klinov Perehodnoy put [Transition path]// Put i putevoe hozaistvo [Road and track facilities] – 1997. – №7. – pp. 26 27.
5. G. M. Shahunyants Opređenje koeficienta uprugogo sjatiya podrelsovogo osnovania [Determination of elastic compression ratio rail base] // Put i putevoe hozaistvo [Road and track facilities] – 1972. – №3. – P. 28-31.
6. L. I. Dyachenko Instruksiya z utrimannya zemlyanogo polotna zaliznits Ukrainy [Instruction road-bed maintenance of railroads Ukraine] / L. I. Dyachenko, G. P. Sour, V. A. Kurach. – D.: Vid – vo ATZT VKF «Art – Media», 2001. – 104 p.