

БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

УДК 625.1

Бондаренко І. О., к.т.н., доцент (ДНУЗТ)

Курган Д. М., к.т.н., доцент (ДНУЗТ)

Савлук В. Є., інженер (ДНУЗТ)

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПОКАЗНИКІВ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ І РУХОМОГО СКЛАДУ

Модуль пружності підрейкової основи є однією з основних характеристик для оцінки напружено-деформаційного стану залізничної колії. Він визначає зв'язок між діючою силою і деформацією – одне з положень, на якому базується сучасний метод інженерного розрахунку колії на міцність [1].

Треба відокремлювати модуль пружності в точці під рейкою (якщо вважати, що рейка опирається на окремі опори) та модуль пружності по довжині рейки (якщо вважати, що рейка опирається на безперервну пружну основу), а також відокремлювати статичний і динамічний модуль пружності. При цьому доцільно враховувати, що він не є постійною величиною, а змінюється як від прогину рейки (причому нелінійно, тому доцільніше говорити про його зміну в часі в процесі коливань рейки), так і по довжині колії. Але у такому вигляді не тільки ускладнюються розрахунки, але й постає питання правильного завдання модуля пружності у вихідних даних.

Його значення впливає на точність розрахунку напружень в елементах колії, що відбивається на правильності встановлення експлуатаційних характеристик ділянки, в тому числі допустимої швидкості руху і строків призначення ремонтів. Існують пропозиції використовувати модуль пружності підрейкової основи як одного з показників оцінки стану залізничної колії [2, 3].

Питання з правильного врахування і вимірювання модуля пружності перш за все пов'язані зі складністю фізичного процесу що відбувається. На модуль пружності підрейкової основи впливають властивості елементів колії: підкладки, шпали, баласту, земляного полотна (звісно, для різних

конструкції колії цей список може мати від'ємності). Його значення складається з жорсткості кожного з названих елементів, але не в рівній мірі, а з урахуванням їх вкладу у загальну деформацію на дану мить дії. Саме ступень їх вкладу буде суттєво залежати від динаміки процесу, який в свою чергу враховує властивості рейки. Напевно, що чим меншу жорсткість має шар, тим більша частина прогину буде реалізовуватися саме за рахунок його деформації. Наприклад в [4] висловлюється таке співвідношення деформацій шарів підрейкової основи: рейка – 0,2%, прокладка – 34%, залізобетонна шпала – 0,8%, баласт – 22%, земляне полотно – 43% . Але деформації від навантаження на рейку розповсюджуються не миттєво, і поки у процес увійде найменш жорсткий шар (земляне полотно) до взаємодії (теж поступово у часі) будуть вже залучені й інші елементи. Це спричинить зміну значення модуля пружності в часі в досить значних межах. А якщо навантаження діє недовгий час (достатньо велика швидкість руху), то значення модуля пружності може й не встигнути набутися меж, які б відповідали стану урівноважених деформацій усіх шарів.

В 60...80 роках в ДПТі для натурного виміру модуля пружності застосовувався спеціальний гідравлічний навантажувальний пристрій, змонтований на базі чотиривісного вагона. При цьому сили, що діють на рейку, вимірювалися за допомогою встановлених у головці домкратів силомірів, а прогини рейок – за допомогою електричних прогиномірів. Пристрій дозволяв одержувати безпосередньо графіки залежності прогинів рейок від прикладеної вертикальної сили в кожному циклі навантаження й розвантаження [5, 6]. Для його застосування необхідно надавати тривалі «вікна».

Сьогодні відбувається пошук сучасного оперативного засобу вимірювання модуля пружності. Існуючі пропозиції, наприклад [7, 8], не знайшли загального практичного застосування. Вони ґрунтувалися на вимірюванні прогинів колії під проїздом поїзда. Основні труднощі виникають від неможливості забезпечити достатню точність вимірювання динамічного прогину – величини яка має невелике значення та швидко змінюється у часі. Також на точність результатів впливає те, що прогинається не тільки безпосередньо рейка, а й її основа, включаючи земляні споруди навколо залізничної колії.

Колієвипробувальна галузева науково-дослідна лабораторія ДНУЗТу для виконання експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу використовує сучасний тензометричний комплекс «ПОНІЛ-Ц» [9]. Застосування для виміру напружень в рейках цифрового обладнання такого рівня, яке завдяки високій частоті дискретизації вимірювань дає змогу отримувати майже безперервний запис, відкриває можливість визначити модуль пружності за співвідношення напружень в різних перерізах рейки.

Якщо розглядати рейку, що навантажена вертикальною силою від колеса, то, загальновідомо, що напруження будуть виникати в рейці на тільки в місці навантаження, а розповсюджуватися на деяку відстань. Розрахункову схему наведено на рис. 1. Причому співвідношення напружень в суміжних точках буде визначатися коефіцієнтом μ :

$$\mu = \frac{\sigma_1}{\sigma_0}, \quad (1)$$

який, крім відстані між розрахунковими точками (x), залежить тільки від показників жорсткості рейки і підрейкової основи:

$$\mu_i = e^{-kx_i} (\cos kx_i - \sin kx_i), \quad (2)$$

де k – коефіцієнт відносної жорсткості:

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI}}, \quad (3)$$

де U – модуль пружності підрейкової основи;

E – модуль пружності рейкової сталі;

I – момент інерції поперечного перерізу рейки у вертикальній площині.

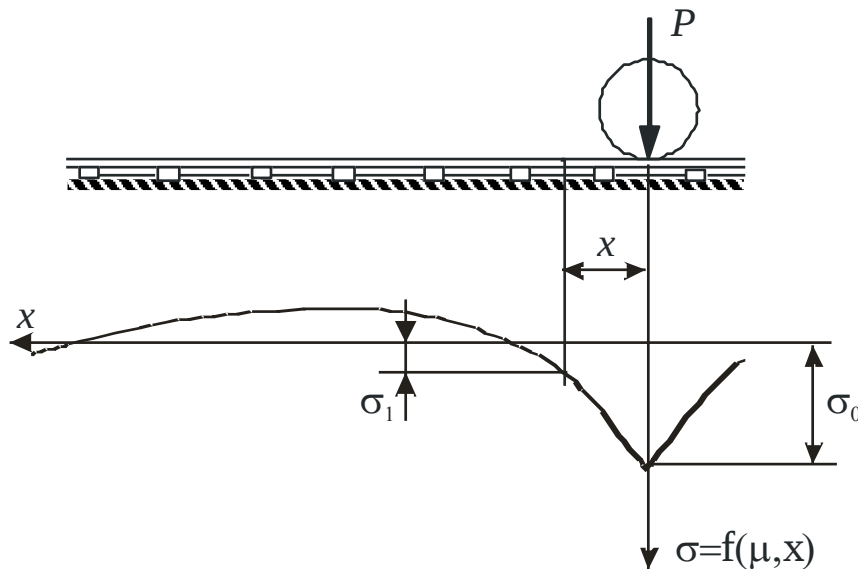


Рисунок 1 – Розрахункова схема

Таким чином, для визначення модуля пружності підрейкової основи достатньо знати відношення напружень в рейках в двох перерізах, навіть без розрахунку значення сили, яка спричинила їх появу.

При виконанні натурних вимірювань напружень в рейці від проходження рухомого складу вибиралось три суміжних перерізу, обладнаних відповідними датчиками, рис. 2.



Рисунок 2 – Послідовність трьох перерізів рейки, обладнаних датчиками

Напруження в розрахункових перерізах визначалися автоматизовано за результатами цифрового запису, рис. 3. Для зменшення впливу суміжних коліс розглядалися тільки такі варіанти розташування рухомого складу, коли перше колесо першого локомотива заїжджає на перший переріз рейки, або, навпаки, останнє колесо останнього локомотива з'їжджає з останнього перерізу рейки. Коефіцієнт відносної жорсткості розраховувався шляхом апроксимації набору пар значень відношення напружень-відстань за критерієм найменших квадратів функцією (2). Такий підхід дає змогу не обмежуватись двома перерізами на рейці. Тоді розрахунок модуля пружності підрейкової основи можна представити у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} U &= 4Elk^4; \\ k &= f(\{\mu_i\}); \\ \exists k : \sum_i \left(\mu_i \sigma_0 - \frac{\sigma_i}{\sigma_0} \right)^2 &\rightarrow \min. \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

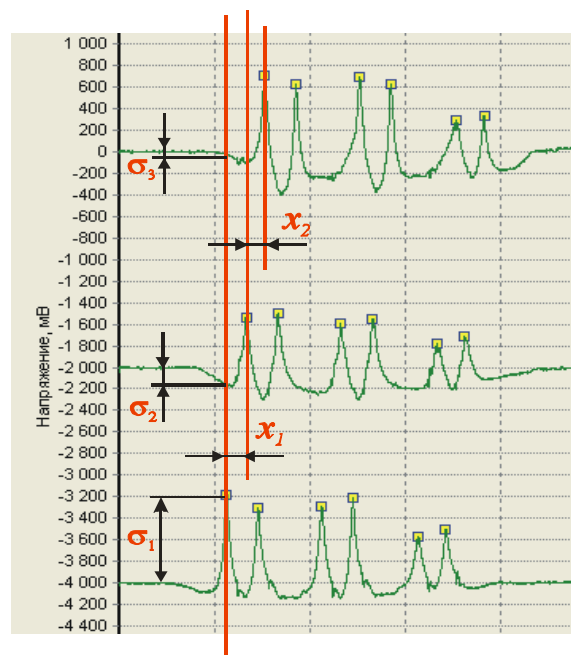


Рисунок 3 – Визначення напружень і відстаней за результатами цифрового запису

Обробка даних виконувалась автоматично за допомогою спеціально створеного програмного забезпечення. Приклад результатів розрахунку модуля пружності для деякої кількості проїзду поїзду наведено на рис. 4.

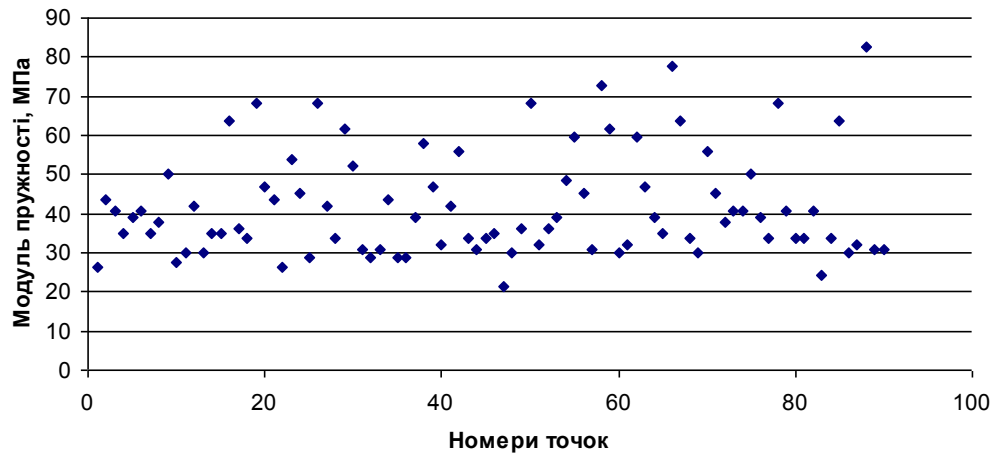


Рисунок 4 – Попередні результати розрахунку модуля пружності підрейкової основи

Подальший аналіз отриманих результатів показав, що основним фактором, який впливає на розкид розрахованих значень модуля пружності, є наявність горизонтальної складової сили, що передається від колеса на рейку.

Для оцінки горизонтальної складової сили використовувалася загальновідома методика розрахунку бокової сили О. П. Ершкова за кромочними напруженнями в головці та підшві рейки. Абсолютні значення бокової сили наведено на рис. 5.

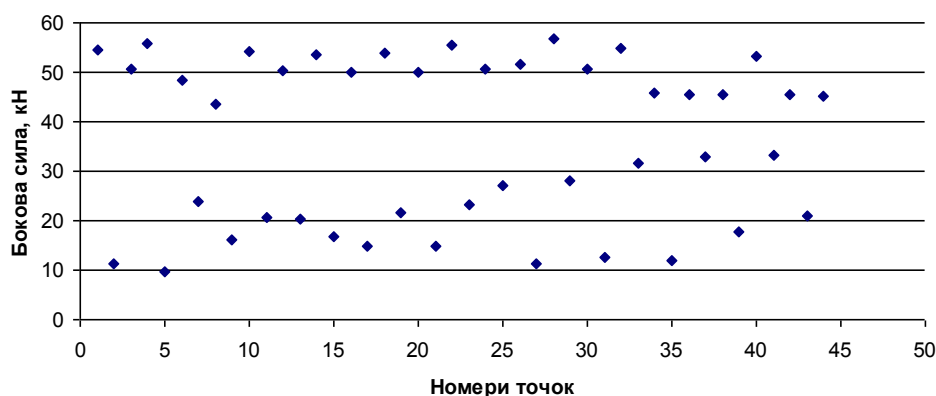


Рисунок 5 – Результати розрахунку бокової сили

Суттєвий перерозподіл сил, що діють від колеса на рейку, і, відповідно, зміщення розрахованого значення модуля пружності, відбувається при наявності контакту реборди колеса з рейкою. Значення бокової сили, при яких спостерігається такий варіант контакту колеса і

рейки, можуть бути визначені аналітично або за аналізом даних, наведених на рис. 5. При появі контакту реборди колеса з рейкою відбувається різкий перерозподіл сил, що можна спостерігати, якщо представити дані наведені на рис. 5 у порядку зростання, рис. 6.

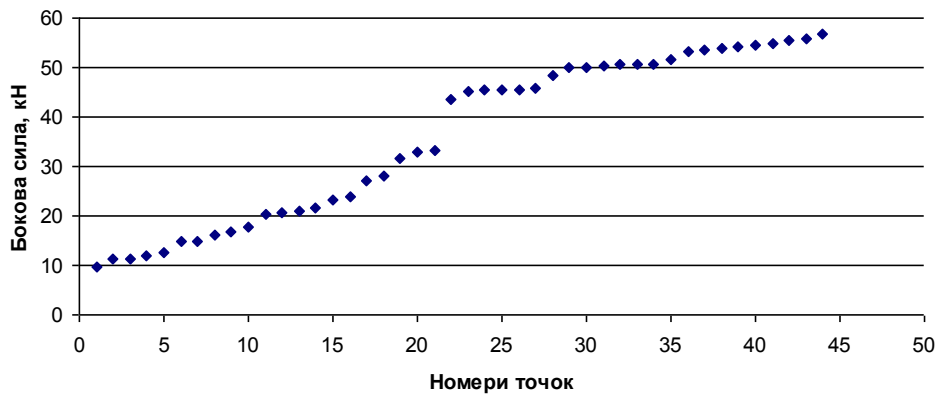


Рисунок 6 – Значення бокової сили у порядку зростання

Якщо з прикладу розрахунку модуля пружності (рис. 4) вилучити варіанти, яким відповідають значення бокової сили після стрибка (рис. 6), розкид результатів буде значно меншим, рис. 7.

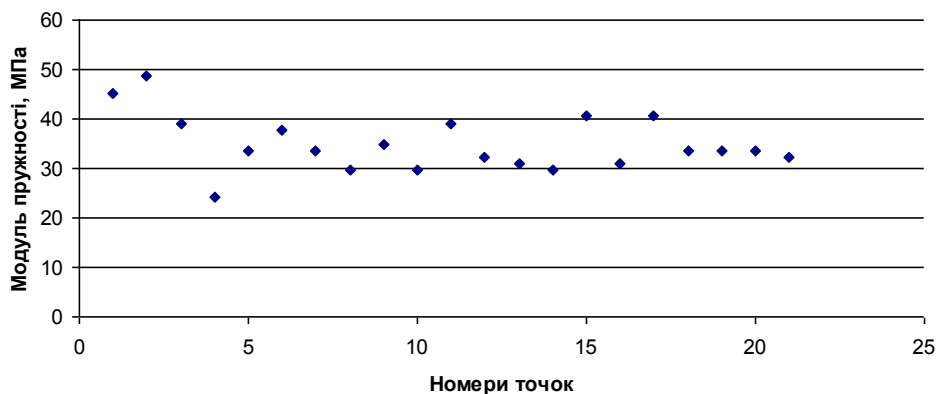


Рисунок 7 – Остаточні результати розрахунку модуля пружності підрейкової основи

Для наведеного прикладу середнє значення модуля пружності підрейкової основи (див. рис. 7), яке і рекомендовано прийняти як розрахункове для розглянутої ділянки, дорівнює 35 МПа. При цьому відношення середньоквадратичного відхилення до середнього значення склало 0,16, що не перевищує рекомендованого інтервалу довіри 0,4 [10].

Запропоновану методику розрахунку можна використовувати й для аналогічних вимірів прогинів замість напружень. Звичайно, у цьому випадку, замість першої еквівалентної сили буде використовуватися друга з відповідним коефіцієнтом η [1]. Але такий підхід приведе до збільшення похибки отриманого значення модуля пружності. По-перше, по причині

складності розмежування прогину рейки й прогину підрейкової основи. По-друге, в наслідок пологості функції $\eta = f(x)$ на відміну від функції $\mu = f(x)$, що зробить різницю вихідних даних для суміжних перерізів рейки менш чіткою.

Висновок

Розглянуто теоретичні основи отримання величин модуля пружності підрейкової основи та можливість їх практичної реалізації. Методика визначення фактичних значень модуля пружності підрейкової основи за результатами експериментальних вимірювань показників взаємодії колії і рухомого складу дозволяє отримати уточнені значення швидкості рухомого складу при проїзді поїзду по дослідній ділянці, режим руху по ділянці, зокрема вплив рухомого складу на обидві нитки рейкової колії, співвідношення напружень та сил, що діють на рейки при проїзді поїзду, зміну напружень від наявності фактичних нерівностей та вплив нерівностей на рух поїзда по дослідній ділянці, внесок роботи рейки як балки на значення модуля пружності підрейкової основи при зміні дискретних значень модуля пружності підшпальної основи.

Список літератури

1. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 [Текст] / Е. І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.:Транспорт України, 2004. – 64 с.
2. Курган, Д. М. Вплив стану залізничної ділянки і структури поїздопотоку на життєвий цикл колії [Текст] / Д. М. Курган, І. О. Бондаренко. – Вісник ДНУЗТу № 19. Д. 2007. С. 78-83.
3. Гавриленко, А.К. Учет жесткости железнодорожного пути [Текст] / Путь и путевое хозяйство: научно-популярный, производственно-технический журнал. – 2007. – №4. – С.37–39.
4. Лихтбергер, Б. Справочник «Железнодорожный путь» [Текст] / Б. Лихтбергер – Гамбург: DVV Media Group GmbH, 2010. – 434 с.
5. Фришман, М. А. Исследование изменения вертикальной жесткости пути по его длине [Текст] / М. А. Фришман, И. С. Леванков. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. – Труды ДИИТ вып.138, Д., 1972. – С. 48-57.
6. Малявко, А.М. Устройство для экспериментального определения упругих характеристик пути [Текст] / Вопросы исследования пути. – Труды МИИТ, вып.210, М., 1965. – С. 80-93.
7. Сисин, М. П. Вимірювання жорсткості колії із використанням відео зйомки [Текст] / М. П. Сисин, М. І. Уманов. Труды 67 Международной

научно-практической конференции "Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта". – Д., 2007. – С. 189-190.

8. Гавриленко, А. К. Использование данных современных путеизмерительных средств для определения вертикальной жесткости пути [Текст] / А. К. Гавриленко, М. Н. Смердов. Труды научно-практической конференции «Повышение эффективности работы путевого хозяйства и инженерных сооружений железных дорог» – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 199.

9. Бондаренко, І. О. Використання цифрової виміральної техніки для експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу [Текст] / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, О. М. Патласов, В. Є. Савлук. Вісник ДНУЗТу № 37. Д. 2011. С. 124-128.

10. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними [Текст]. Затверджено наказом Держстандарту України №31 від 22.01.1995р. Київ, Держстандарт України 1995. – 124 с.