

УДК 625.142

**КОЕФІЦІЄНТИ ПОСТІЛІ ДЕРЕВ'ЯНИХ ШПАЛ ДЛЯ УМОВ ПІД'ЇЗНИХ КОЛІЙ
БУДІВЕЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

Канд. техн. наук В.І. Харлан

**КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОСТЕЛИ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПОДЪЕЗДНЫХ
ПУТЕЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Канд. техн. наук В.И. Харлан

**ODDS BED WOODEN SLEEPERS FOR THE CONDITIONS OF ACCESS ROADS
CONSTRUCTION COMPANY**

Ph.D V.I. Harlan

На підставі експериментальних досліджень, проведених на ділянках під'їзних колій будівельного підприємства, були встановлені коефіцієнти постілі дерев'яних шпал, які є однією з основних складових пружно - дисипативних характеристик підрейкової основи. При проведенні робіт була використана високотехнологічна комп'ютерна техніка, в тому числі відеоцифрова система. Ця система дає змогу дистанційно і безконтактно визначати переміщення елементів колії з точністю до 0,03 мм. Установлено вплив на ці параметри осьових навантажень, термінів експлуатації колії. Дослідження, які були проведені взимку, дали змогу також отримати цей параметр для негативних температур .

Ключові слова: під'їзні колії будівельного підприємства, коефіцієнт постілі дерев'яних шпал.

На основании экспериментальных исследований, проведенных на участках подъездных путей строительного предприятия, были установлены коэффициенты постели деревянных шпал, которые являются одной из основных составляющих упруго-дисипативных характеристик подрельсового основания. При проведении работ была использована высокотехнологичная компьютерная техника, в том числе видеоцифровая система. Эта система позволяет дистанционно и бесконтактно определять перемещения элементов пути с точностью до 0,03 мм. Установлено влияние на эти параметры осевых нагрузок, сроков эксплуатации пути. Исследования, которые были проведены в зимнее время, позволили также получить этот параметр для отрицательных температур.

Ключевые слова: подъездные пути строительного предприятия, коэффициент постели деревянных шпал.

On the basis of experimental studies conducted in areas driveways construction company were set coefficients bed wooden sleepers , which are one of the main components of elastic- disipativnyh characteristics rail base . At work were used high-tech computer equipment, including digital video system . This system allows you to remotely and non-contact way to determine the movement of the cells with an accuracy of 0.03 mm. Effect on these parameters of axial loads , the service life of the way. Studies have been conducted in the winter, will also provide this option for negative temperatures.

Keywords: driveways construction company, bed linen coefficient of wooden sleepers.

Вступ. Пружну складову сил опору переміщенням шпал у вертикальній площині, кН, в даний час прийнято визначати як

$$R_y = C_{y\sigma} \cdot \alpha \cdot \Omega_{ш} \cdot y_p, \quad (1)$$

де y_p - вертикальні переміщення шпала в підрейковому перетині під дією сили R_y (М) ;

$C_{y\delta}$ - коефіцієнт постілі шпала, кН/м³;

α - коефіцієнти вигину шпала;

$\Omega_{ш}$ - площа півшпала, м².

Аналіз досліджень та публікацій. Вплив пружних властивостей шпал і їх основи на формування вертикальної жорсткості колії дуже істотний, що наголошується багатьма дослідниками. Так, розрахунки, виконані в [1], показали, що частка цього параметра у формуванні модуля пружності колії з дерев'яними шпалами влітку складає від 77 до 90 %. У дослідях, проведених на залізницях Німеччини [2], встановлено, що питома вага шпал і їх основи в загальній вертикальній деформації колії на дерев'яних шпалах дорівнює 80 %.

Узимку при промерзлому баласті і земляному полотні, жорсткість колії зростає в 1,5 [3], а за іншими даними - в 2-3 рази [4].

Експериментальному визначенню значень коефіцієнта постілі шпали було присвячено багато робіт [5-10]. В основному наведено значення параметра $C_{\text{пост}}$ при статичному завантаженні колії, оскільки методи визначення динамічних жорсткостей ще недостатньо вивчені і визначені. Відомі, наприклад, методи визначення динамічних параметрів, запропоновані в роботах [11-12]. Наголошується, що при динамічних навантаженнях значення коефіцієнта постілі можуть складати 70 %, а в деяких випадках – 60 % від значень цієї величини при статичному навантаженні. Теоретичне обґрунтування цього явища в результаті дії вібрації баласту наведено в [13].

У процесі експлуатації у міру ущільнення і забруднення баласту коефіцієнт постілі шпал зростає на 40-80 % [14].

Коефіцієнтом вигину шпали прийнято називати [15] відношення середньої по довжині шпали осідання під дією вертикальних сил до її осідання в підрейковому перетині. В [15] указуються значення α для дерев'яних шпал - 0,7-0,85 влітку і 0,50-0,53 взимку. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [3] рекомендують для дерев'яних шпал влітку приймати значення 0,881; взимку - 0,820.

Для умов магістральних залізниць значення коефіцієнта постілі дерев'яних шпал рекомендується приймати [7, 13] в межах 6,5 – 8,5 кН/м^3 для літніх і 12,0-18,0 кН/м^3 для зимових умов.

Таким чином, дослідженням коефіцієнтів постілі дерев'яних шпал в умовах

магістральних залізниць присвячена значна кількість робіт. Але для умов під'їзних колій будівельного підприємства України такої інформації практично немає.

Постановка проблеми. На жорсткість шпал при вертикальних навантаженнях в умовах під'їзних колій будівельного підприємства впливають як особливості експлуатації колії, так і особливості її конструкції. До особливостей експлуатації слід віднести в першу чергу рівень осьових навантажень, які можуть перевищувати рівень осьових навантажень на магістральному транспорті більш ніж у два рази. Велику питому вагу складають колії, розташовані в місцях інтенсивного засмічення баластового шару.

Особливістю конструкції залізничних під'їзних колій будівельного підприємства, що впливає на коефіцієнт постілі і вертикальну жорсткість шпал, є менша, в порівнянні з магістральними залізницями, товщина баласту. Так, при дерев'яних шпалах на ділянках з осьовими навантаженнями до 265 кН і вантажонапруженістю до 25 млн т / рік товщина одношарової баластної призми повинна складати 25 см, при осьових навантаженнях від 265 до 294 кН - 30 см.

Метою досліджень є експериментальне визначення коефіцієнтів постілі шпал в умовах під'їзних колій будівельного підприємства та встановлення впливу технічних та експлуатаційних чинників промислового залізничного транспорту на цей параметр.

Основна частина. Жорсткість дерев'яних шпал при вертикальних навантаженнях і коефіцієнти постілі цих шпал для умов залізничних колій промислових підприємств України визначені на підставі даних експериментальних досліджень.

Роботи проводилися на 12 ділянках колії під'їзних колій до підприємств будівельного комплексу, які відрізнялись типами рухомого складу, що обертається, його осьовими навантаженнями, значеннями вантажонапруженості і термінами служби колії після капітального ремонту.

На кожній дослідній ділянці випробовувалося від 3 до 5 шпал. Вертикальні навантаження на шпали від рухомого складу фіксувалися силовимірювальними підкладками [14], вертикальні переміщення шпал - відеоцифровою системою вимірювання

переміщень [16]. Вертикальні сили і переміщення шпал записувалися безперервно в цифровому вигляді в пам'яті комп'ютера під час проходження всього поїзда.

Записана інформація копіювалася, переносилася в табличний процесор *Excel*. За цими даними будувалися графіки пружних характеристик шпал для усереднених значень переміщень і навантажень для кожної ділянки.

Жорсткості шпал при вертикальних навантаженнях однієї рейкової нитки були визначені шляхом лінеаризації пружних характеристик методом хорд для діапазонів 40-60, 60-80 і 80-100 кН, що відповідає реальним навантаженням на шпалу при русі екіпажів з осьовими навантаженнями до 265 кН, 265-294 і більше 294 кН на вісь.

Одержана інформація дає змогу зробити висновок про те, що із збільшенням діапазонів діючих навантажень при зіставних значеннях пропущеного по ділянках тоннажу вертикальна жорсткість дерев'яних шпал зростає. Таке збільшення складає для дерев'яних шпал від 22-27% до 52-59% при різних типах вагонів.

Для ділянок, по яких обертається однаковий рухомий склад і які розрізняються термінами служби колії, відзначено збільшення вертикальної жорсткості. Так, наприклад, на рисунку наведені значення жорсткостей дерев'яних шпал (одна рейкова нитка), які були одержані в результаті обробки дослідних даних для ділянок 11 і 12. По всіх ділянках обертаються навантажені думпкари 6-BC-60 з дозволеними осьовими навантаженнями до 216 кН/вісь, терміни служби колії до 10 років, пропущений тоннаж складає від 0 до 180 млн т.

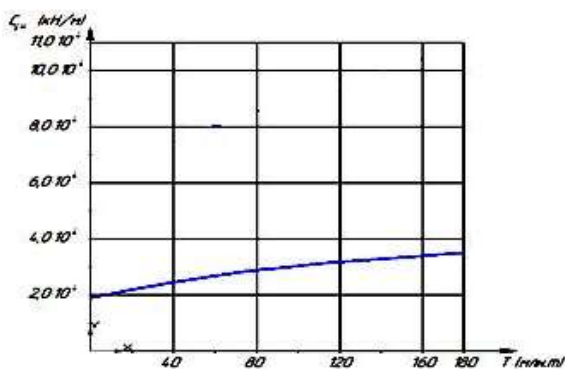


Рис. Залежності вертикальної жорсткості шпал від величини пропущеного тоннажу при обертанні думпкарів 6-BC-60

Можна припустити, і це припущення підтверджується проведеними експериментальними роботами, що на зміни жорсткостей шпал при вертикальному завантаженні і на коефіцієнт постілі шпал значно впливає саме кількість пропущеного по ділянках тоннажу як узагальнюючого чинника силової дії на колію. По мірі зростання тоннажу відбувається збільшення щільності і засміченості баласту, що і викликає зростання сил опору шпал переміщенням.

Коефіцієнт постілі шпал, Н/м³, визначався на підставі дослідних даних так:

$$C_{y\sigma} = \frac{R_y}{\alpha \Omega_{ш} y_p}, \quad (2)$$

де R_y - діюче на шпалу вертикальне навантаження, кН;

$\Omega_{ш}$ - площа півшпали, м²;

y_p - вертикальне переміщення шпали в підрейковому перетині, м;

α - коефіцієнт вигину шпали.

У рівнянні (2), при використуванні як аргументів даних про зміни значень R_y і y_p , які одержані експериментально, невідомими залишаються два параметри - коефіцієнт постілі шпали $C_{y\sigma}$, кН/м³, і коефіцієнт вигину шпали α . Коефіцієнт вигину шпали, що є відношенням середнього осідання шпали до осідання в підрейковому перетині, у свою чергу залежить від діючих на шпалу навантажень, геометричних характеристик шпали, пружних властивостей її матеріалу і коефіцієнта її постілі.

Раніше наголошувалося, що значення коефіцієнта α , одержані в різних дослідженнях, значно розрізняються, одержані для умов магістральних залізниць і не детерміновані за умов їх застосовності - наприклад, по величині коефіцієнта постілі шпали.

Визначення параметрів $C_{y\sigma}$ і α можна розглядати як ідентифікацію об'єкта заданої структури. Тут математична модель об'єкта задається рівнянням (2) і методикою розрахунку шпали як балки змінного перерізу, що лежить на суцільній пружній основі, яка

характеризується коефіцієнтом постілі шпали. Параметри цієї моделі C_σ і α підбираються так, щоб при заданому вході (значення вертикальних сил R_y) вихід моделі мало відрізнявся від експериментально визначеного виходу.

Знаходження невідомих параметрів у вигляді напівемпіричної функції проводилося одним з методів пошуку екстремуму цільової функції $\alpha = f(C_\sigma)$ - методом покоординатного спуску. Як цільова функція приймалася величина, рівна сумі квадратів відносних відхилень експериментальних і розрахункових значень прогинань шпал у підрейковому перетині:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{y_{pi} - y_{p\sigma i}}{y_{pi}} \right)^2; y_{pi} \neq 0, \quad (3)$$

де y_{pi} - величина вигину шпали, визначена розрахунковим шляхом при значенні R_{yj} , м;

$y_{p\sigma i}$ - те ж, визначена експериментально, м;

n - кількість експериментальних точок.

Проведені експериментальні роботи, статистична обробка одержаних результатів і розрахунки, виконані за висловленою методикою з використанням комп'ютерної програми системи *Mathcad* дали змогу визначити значення коефіцієнтів постілі дерев'яних шпал і коефіцієнтів їх вигину (таблиця). Значення середньоквадратичних відхилень містяться в межах 13 %.

Таблиця

Коефіцієнт постілі і коефіцієнти вигину шпал на дослідних ділянках

№ ділянки	Тип шпал	Осьові навантаження, кН	Пропущений тоннаж, млн т	Коефіцієнт постілі, кН/м ³	Середньоквадратичне відхилення, кН/м ³	Коефіцієнт вигину шпали
1	2	3	4	5	6	7
1	Дер І А	201	14	$7,46 \cdot 10^4$	$0,64 \cdot 10^4$	0,815
2	Дер І А	201	49	$8,97 \cdot 10^4$	$0,76 \cdot 10^4$	0,807
3	Дер І А	353	60	$14,06 \cdot 10^4$	$1,15 \cdot 10^4$	0,787
4	Дер І А	353	108	$15,87 \cdot 10^4$	$1,42 \cdot 10^4$	0,771
5	Дер І Б	211	25	$7,82 \cdot 10^4$	$0,81 \cdot 10^4$	0,812
6	Дер І Б	211	50	$8,91 \cdot 10^4$	$0,94 \cdot 10^4$	0,802
7	Дер І А	346	48	$13,66 \cdot 10^4$	$1,45 \cdot 10^4$	0,785
8	Дер І А	346	64	$13,92 \cdot 10^4$	$1,41 \cdot 10^4$	0,781
9	Дер І Б	245	2	$6,54 \cdot 10^4$	$0,61 \cdot 10^4$	0,824
10	Дер І А	245	48	$8,67 \cdot 10^4$	$0,72 \cdot 10^4$	0,801
11	Дер І А	216	9	$6,57 \cdot 10^4$	$0,67 \cdot 10^4$	0,820
12	Дер І А	216	126	$10,72 \cdot 10^4$	$1,21 \cdot 10^4$	0,795

Для ділянок колії з осьовими навантаженнями 201-216 кН значення коефіцієнтів постелі шпал і коефіцієнтів їх вигину узгоджуються з даними, наведеними в [3, 7, 13].

На підставі даних, наведених у таблиці, одержана залежність змін коефіцієнтів постелі дерев'яних шпал від величини пропущеного по колії тоннажу з урахуванням діапазонів вертикальних навантажень на шпали.

Для дерев'яних шпал ця залежність має такі параметри, кН/м^3 ,

$$C_{\sigma} = K_{oc} (6,5 \cdot 10^4 + 0,23 \cdot 10^4 \cdot T^{0,605}), \quad (4)$$

$K_{oc} = 1$ при осьових навантаженнях до 265 кН;

$K_{oc} = 1,24$ при навантаженнях 265-294 кН;

$K_{oc} = 1,55$ при навантаженнях більш 294 кН.

Напівемпірична залежність коефіцієнта вигину шпали від коефіцієнта її постілі має вигляд:

$$\alpha = 0,9222 (C_{\sigma} \cdot 10^{-4})^{-0,0627} \quad (5)$$

(можна використовувати для діапазону $C_{\sigma} = 6,0-22,0 \cdot 10^{-4} \text{ кН/м}^3$).

Роботи з визначення опірності дерев'яних шпал вертикальним навантаженням, які виконані в зимових умовах у 2009 році на ділянках № 11,12, показали, що збільшення коефіцієнта постілі в 1,6 рази взимку для промислових залізниць України є обґрунтованим.

Висновок. Таким чином, на основі експериментальних досліджень вперше отримані значення коефіцієнта постілі дерев'яних шпал для умов промислових залізниць, встановлені залежності змін цього параметра під час експлуатації колії з урахуванням впливу рівня осьових навантажень спеціальних і спеціалізованих вагонів та конструктивних особливостей колії промислового залізничного транспорту.

Список використаних джерел

1. Новичков, В.П. Рациональные способы усиления железнодорожного пути [Текст] / В.П. Новичков // Ж.-д. трансп. – 1956. – № 4. – С. 66- 68.
2. Birman F. Neure Messung an Gleisen mit verschiedener Unterschwellung.- Eisenbahntechnische Rundschau,- juli, 1977, N. 7, s. 229- 246.
3. Даніленко, Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність та стійкість [Текст] / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
4. Иволга, Н.В. Об инерционных свойствах пути при движении по нему постоянной силы [Текст] / Н.В. Иволга, В.И. Климов // Труды ДИИТа. – Днепропетровск: ДИИТ, 1975. – №167/16. – С. 73-81.
5. Васютынский, А.А. Наблюдения над временными деформациями верхнего строения пути на Варшаво-Венской железной дороге [Текст] / А.А. Васютынский // Труды XV съезда инженеров службы пути. – М., 1858. – С. 12-17.
6. Стецкевич, И.Р. Об опытах над устойчивостью верхнего строения пути при проходе поездов [Текст] / И.Р. Стецкевич // Протоколы XII совещенного съезда инженеров службы пути русских железных дорог. – М., 1894. – С. 65-72.
7. Рубан, П.С. Методика работ по определению коэффициента постели шпал [Текст] / П.С. Рубан; Институт инженерных исследований НКПС. – М.: Транспечать, 1930. – Вып. 27.
8. Ершков, О.П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках [Текст] / О.П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС. – М.: Трансжелдориздат, 1964. – Вып. 264. – С. 39-48.
9. Яковлев, В.Ф. Определение расчетных параметров пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью вибромашины [Текст] / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов, В.И. Абросимов // Труды ЛИИЖТа. – Л.: ЛИИЖТ, 1971. – Вып. 326. – С. 66-85.
10. Фришман, М.А. Экспериментальные определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути [Текст] / М.А. Фришман, Л.Я. Воробейчик, Р.С. Липовской // Вестник ЦНИИ МПС. – 1970. – № 8. – С.31-35.

11. Сергеев, Б.Н. Упрощенные методы полевых испытаний рельсового пути [Текст] / Б.Н. Сергеев // Тр НИИ пути. – М.: Госжелдориздат, 1933. – С. 9-27.
12. Вериги, М.Ф. Определение динамического модуля пути [Текст] / М.Ф. Вериги // Техника железных дорог. – 1949. – №12. – С. 23-24.
13. Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути [Текст] / под ред. В.Г. Альбрехта и А. Ф. Золотарского. – М.: Транспорт, 1975. – 280 с.
14. Содержание балластной призмы железнодорожного пути [Текст] / под ред. Е.С. Варызгина. – М.: Транспорт, 1978. – 141 с.
15. Шахуняц, Г.М. Железнодорожный путь [Текст]: монография / Г.М. Шахуняц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
16. Система для вимірювання переміщень в елементах інженерних конструкцій і споруд під дією навантажень [Текст]: пат. 70477 Україна; МПК¹¹ G 01 D 5/00; E01 B 35/00 / О.М. Даренський, В.М. Астахов, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг, Є.А. Беліков. – № u 201114788; заявл. 13.12.2011; опубл. 11.06.2012; Бюл.№ 11. – 5 с.: ил.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Пługін

Харлан В.І., кандидат технічних наук, начальник дирекції будівництва Бескідського тунелю Львівської залізниці.

Harlan V.I., Candidate tehnicnih Sciences, Head direktsiї budivnitstva Beskidskogo tonel Lvivskoї zaliznitsi.