

УДК 625.142.033

ВІТОЛЬБЕРГ В.Г., к.т.н., ст. викладач (УкрДАЗТ)

Експериментальні дослідження сил опору залізобетонних шпал в щебеновому баласті

Розглядається питання формування опору переміщенню залізобетонних шпал в баласті залежно від пропущеного тоннажу та вертикального навантаження.

Ключові слова: залізобетонна шпала, щебеновий баласт, пропущений тоннаж, сили опору.

Постановка проблеми

Сили опору переміщенням шпал у баласті є одним з параметрів, що визначає роботу залізничної колії, як під дією навантажень від рухомого складу, так і впливу температурних сил. Від величини цього опору залежить довжина активної, з точки зору температурної роботи, частини пліти безстикової колії, а також безпосередньо температурні напруження в рейках, переміщення окремих перерізів пліти, опірність безстикової колії проти викиду. При цьому важливо знати, як ці сили змінюються в процесі експлуатації і як впливає на їх величину вертикальне навантаження.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій

Сили опору баласту поперечному зсуву залізобетонних шпал забезпечують (за оцінкою деяких дослідників [1]) до 60-65 % загального опору рейкошпальної решітки вигину в горизонтальній площині.

Опірність щебенового баласту поперечному зсуву залізобетонних шпал визначалася за методикою, що загальноприйнята для цієї мети [2, 3]. Суть методики полягає у наступному: звільнена від зв'язку з рейками шпала переміщувалася за допомогою гідравлічного приладу поперек осі колії, при цьому фіксувалися зусилля, що прикладалися до шпали (по манометру на приладі), і викликані ними переміщення шпали (по індикатору переміщень ИЧ-10).

Формування мети

Для визначення залежностей змінювання сил опору щебенового баласту поперечному зсуву залізобетонних шпал Ш1-1 у процесі експлуатації, кафедрою «Колія та колійне господарство» УкрДАЗТ були виконані відповідні дослідження. Експериментальні роботи в рамках цих досліджень проводилися на дослідній ділянці залізничної колії при тривалій її експлуатації, а саме при напрацюванні 7, 172, 265 і 500 млн.т вантажу брутто.

Загальна частина

При проведенні робіт баласт на дослідній ділянці перебував у сухому стані, заповнення шпальних ящиків баластом і розміри баластової призми відповідали встановленим нормам. Після пропуску по ділянці 7 млн.т вантажу щебеновий баласт був чистим, при напрацюванні 170 і 265 млн.т. засмічення баласту не перевищувало 20 %, а після пропуску 500 млн. т забрудненість щебеню досягла 30 %. Під час експериментальних досліджень випробуванню підлягли 280 залізобетонних шпалах.

Гістограми розподілу експериментальних значень опору баласту поперечному переміщенню шпал виявилися близькими до нормального, відповідно до якого була виконана статистична обробка дослідних даних. Результати цієї статистичної обробки наведені в табл. 1 і графічно на рис. 1.

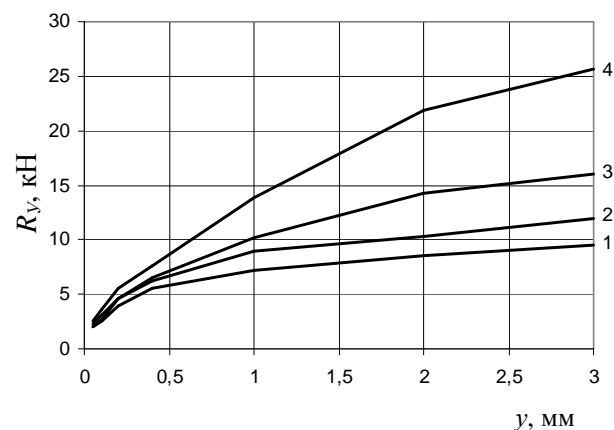


Рис. 1. Сили опору щебенового баласту R_y поперечному переміщенню шпали Ш1-1 при пропущеному тоннажу: 1 – 7 млн. т; 2 – 170 млн. т; 3 – 265 млн. т; 4 – 500 млн. т

Таблиця 1

Експериментальні значення сил опору щебеневого баласту переміщенню залізобетонних шпал ШІ-1 поперек осі колії

Пропущений тоннаж (млн.т)	Сили опору баласту R_y (кН) поперечному переміщенню шпали (мм) (чисельник) і їх середньоквадратичне відхилення (знаменник)						
	0.05	0.10	0.20	0.40	1.00	2.00	3.00
7	$\frac{1.99}{0.19}$	$\frac{2.64}{0.21}$	$\frac{3.92}{0.35}$	$\frac{5.54}{0.33}$	$\frac{7.64}{0.71}$	$\frac{8.52}{0.90}$	$\frac{9.45}{0.72}$
	$\frac{2.07}{0.20}$	$\frac{2.65}{0.23}$	$\frac{4.58}{0.48}$	$\frac{6.23}{0.59}$	$\frac{8.99}{0.81}$	$\frac{10.28}{1.01}$	$\frac{11.95}{1.20}$
170	$\frac{2.30}{0.35}$	$\frac{3.16}{0.29}$	$\frac{4.63}{0.38}$	$\frac{6.55}{0.52}$	$\frac{10.16}{0.97}$	$\frac{14.22}{1.22}$	$\frac{16.07}{1.25}$
	$\frac{2.52}{0.31}$	$\frac{3.70}{0.41}$	$\frac{5.53}{0.61}$	$\frac{7.56}{0.71}$	$\frac{13.89}{1.36}$	$\frac{21.87}{3.35}$	$\frac{25.66}{1.35}$

На рис. 2 наведені графіки залежності сил опору щебеневого баласту поперечному зсуву залізобетонної шпали при її переміщенні в баласті на 0.4; 2.00 і 3.00 мм, що відповідає фактичному переміщенню шпали під дією бічних сил від рухомого складу.

де T – пропущений тоннаж (млн. т);
 a, b – емпіричні коефіцієнти (табл. 2).

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів a, b

Величина переміщення, мм	Коефіцієнт a	Коефіцієнт b
0.4	5.5	0.004
2.0	8.5	0.027
3.0	9.4	0.032

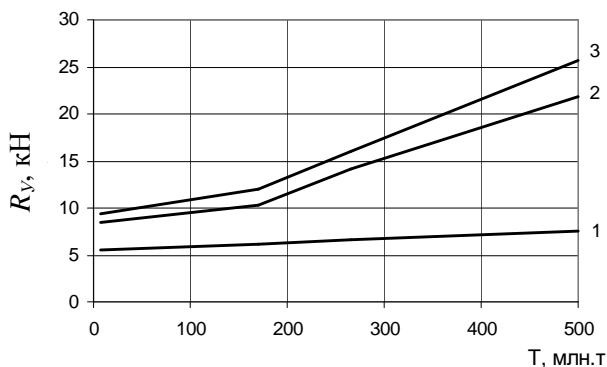


Рис. 2. Змінювання сил опору щебеневого баласту поперечному переміщенню шпали ШІ-1 залежно від пропущеного тоннажу: 1 – при зсуві на 0.4 мм; 2 – при зсуві на 2.0 мм; 3 – при зсуві на 3.0 мм

В початковий період експлуатації (при пропущеному тоннажу до 10 млн.т) опірність поперечному переміщенню шпали інтенсивно зростає, при подальшому напрацюванні тоннажу зростання опірності баласту уповільнюється. На цьому етапі експлуатації залежність опору щебеневого баласту поперечному зсуву шпал наближається до лінійної і добре описується рівнянням виду:

$$R_y = a + bT, \text{ (кН)} \quad (1)$$

Наведені вище результати експериментальних досліджень дозволяють враховувати зміну опірності щебеневого баласту поперечному зсуву залізобетонних шпал в процесі експлуатації при розрахунках стійкості конструкції безстикової колії, що знаходиться під дією тільки температурних сил.

Однак, при спільній дії температурних сил і динамічного навантаження від рухомого складу, величина опору баласту зсуву шпал буде змінюватися. Для визначення величини цього змінювання, сила опору баласту R_y при дії на шпалу поперечної сили Q_y може бути представлена як сума сил зчеплення та тертя нижньої постелі шпали по баласту R_{yII} , зчеплення й тертя баласту по бічних поверхнях шпали R_{yB} і опору баласту зсуву шпали по її торцю R_{yT} (рис. 3)

$$Q_y = R_y = R_{yII} + R_{yB} + R_{yT}. \quad (2)$$

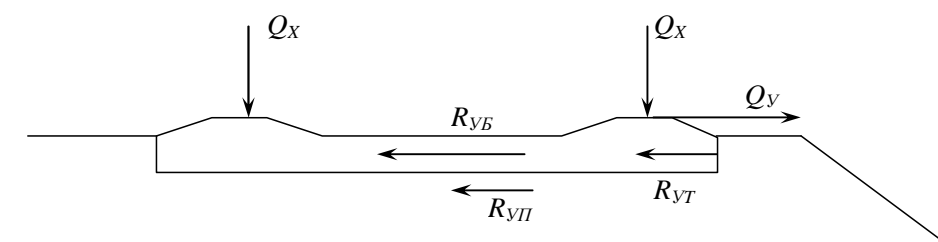


Рис. 3. Схема сил опору баласту поперечному переміщенню шпали

Серед сил, які вказані у формулі (2) сила $R_{vП}$ залежить не тільки від маси шпали й частини маси рейок і скріплень, що доводяться на цю шпалу, але й від поїзного навантаження на шпалу Q_x . Тоді можна припустити, що при динамічній дії рухомого складу, сила зчеплення й тертя баласту по нижній постелі шпали визначається за формулою

$$R_{vП\text{дин}} = R_{vП} + f \cdot Z \cdot Q_x, \quad (3)$$

де $R_{vП}$ – зчеплення й тертя по баласту нижньої постелі незавантаженої шпали;

f – коефіцієнт тертя шпали по баласту;

Q_x – динамічне вертикальне навантаження на шпалу.

Для уявлення щодо співвідношення сил $R_{vБ}$ і $R_{vТ}$ у загальному опорі баласту R_v зсуву шпали можна скористатися результатами експериментів по встановленню опірності щебеневого баласту зсуву шпал на різних стадіях виконання капітального ремонту колії [3]. У цих дослідженнях застосовувалася

аналогічна методика й було, зокрема, отримані залежності опору щебеневого баласту зсуву шпал при незасипаних шпальних ящиках і торцях шпал, при заповнених баластом тільки шпальних ящиках і при повністю оформленій баластовій призми.

Вид залежностей опору баласту зсуву шпал в дослідженні [3] аналогічний залежностям, що наведені на рис. 1. Ці залежності були апроксимовані формулою виду:

$$R_v = B \cdot \arctg\left(\frac{y}{\epsilon}\right), \quad (\text{кН}) \quad (4)$$

де ϵ і B – емпіричні коефіцієнти;

y – величина поперечних переміщень шпал (мм).

Значення коефіцієнтів ϵ і B за результатами досліджень [3] наведені в табл. 3. Тут також наведені значення сил опору баласту зсуву шпал, що розраховані по формулі (4).

Таблиця 3

Сили опору щебеневого баласту зсуву шпал ШІ-1 при проведенні ремонту колії

Переміщення шпали у (мм)	Сили опору баласту зсуву шпал (кН)				
	Шпали на баласті $\epsilon = 0.803$ $B = 1.48 (R_{vП})$	Засипано шпальні ящики $\epsilon = 0.512$ $B = 3.57$ $(R_{vП} + R_{vБ})$	$R_{vБ}$	Засипано шпальні ящики й торці шпал $\epsilon = 0.359$ $B = 3.96$ $(R_{vП} + R_{vБ} + R_{vТ})$	$R_{vТ}$
1	2	3	4	5	6
0.05	0.09	0.03	-	0.55	0.52
0.1	0.18	0.69	0.51	1.07	0.38
0.2	0.36	1.33	0.97	2.21	0.88
0.4	0.68	2.37	1.69	3.32	0.95
1.0	1.32	3.91	2.59	4.86	0.95
2.0	1.76	4.71	2.94	5.52	0.81
3.0	1.97	5.00	3.03	5.75	0.75
4.0	2.03	5.15	3.12	5.87	0.72
5.0	2.06	5.24	3.18	5.94	0.70

Опір баласту переміщенню шпал при незасипаних шпальних ящиках і торцях шпал відповідає силі $R_{УП}$ зчеплення та тертя по баласту нижньої постелі шпали (графа 2 табл. 3)

Експериментальні дані показують, що повністю сили зчеплення перестають діяти при переміщенні шпали на 2.0-2.5 мм і далі діє тільки сили тертя, практично постійної величини (1.95-2.05 кН). З урахуванням, що маса шпали становить 265 кг, коефіцієнт тертя шпали по баласту можна приймати рівним 0.77.

При засипаних баластом шпальних ящиках опір переміщенню шпал буде складатися із сил зчеплення й тертя по нижній по постелі й по бічних поверхнях шпали ($R_{УП} + R_{УБ}$). Дані в графі 4 отримані як різниця значень даних граф 3 та 2 і являють собою значення сили $R_{УБ}$.

Повне подолання сил зчеплення відбувається при переміщеннях шпали на величину 2.0-2.5 мм. Сила тертя баласту по бічних поверхнях шпали становить близько 3.1 кН.

Сила $R_{УТ}$ (графа 6 табл. 3) була визначена як різниця даних граф 5 і 3. Максимальних значень сила $R_{УТ}$ досягає при переміщеннях шпали 0.2 – 0.4 мм і становить 0.95 кН, що добре погоджується з даними теоретичних досліджень сил опору зсуву по торцях шпал [4]. Деяке зниження сил опору при подальших переміщеннях можна пояснити розуцільненням баласту.

Висновки

Таким чином, при чистому та неуцільненому баласті (пропущений тоннаж дорівнює нулю) близько 54% загального опору зсуву незавантаженої шпали забезпечується зчепленням і тертям баласту по бічних поверхнях шпали, 34% – по нижній постелі й близько 12% – за рахунок опорів баласту по торцю шпали.

У процесі експлуатації відбувається збільшення загального опору шпал $R_{У}$ поперечним переміщенням, яке можна оцінити залежностями виду (1).

При дії на колію динамічних сил від рухомого складу, сили опору поперечним зсувам будуть зростати в результаті збільшення сил тертя нижньої постелі шпали по баласту (графа 3 табл. 3).

Література

1. Клименко В.Я., Клименко Л.В. Повышение сопротивления железобетонных шпал сдвигу поперек оси пути // Вестник ВНИИЖТ. 2006. – №1. – С. 27-31.
2. Макарьян М.А., Зверев Н.Б. Сопротивление бесстыкового пути перемещениям / Бесстыковый путь: Труды ВНИИЖТ, М: Трансжелдориздат, 1962. – Вып. 244. – С. 19-45.

3. Покацкий В.А., Суслов О.А. Экспериментальные исследования по определению сил сопротивления поперечному перемещению шпал в балласте // Труды ИрГУПС, 1998. – Вып. 23. – С. 21-27.
4. Варьзгин Е.С. Расчет сопротивления поперечному сдвигу по торцам шпал // Вестник ВНИИЖТ, 1970. – № 8. – С. 35-37.

Витольберг В.Г. Экспериментальные исследования сил сопротивления железобетонных шпал в щебеночном балласте. Рассматриваются вопросы формирования сил сопротивления перемещению железобетонных шпал в балласте зависимо от пропущенного тоннажа и вертикальной нагрузки.
Ключевые слова: железобетонная шпала, щебеночный балласт, пропущенный тоннаж, силы сопротивления.

Vitolberg V.G. Experimental researches of concrete sleeper resistance forces in crushed-stone ballast. The problems of the formation of resistance forces to concrete sleeper shift in ballast depending on tonnage capacity and vertical load.

Key words: concrete sleeper, crushed-stone ballast, tonnage capacity, resistance forces.

Рецензент д.т.н., професор Даренський О.М. (УкрДАЗТ)

Поступила 03.03.2014 г.