

УДК 273

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.169.2017.111099>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТЕЙ ПРОКЛАДОК СКРІПЛЕНЬ ТРЕП І ТРЕП-Ш

Д-р техн. наук О. М. Даренський, старш. викл. Е. А. Бєліков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТЕЙ ПРОКЛАДОК СРЕПЛЕНИЙ ТРЕП И ТРЕП-Ш

Д-р техн. наук А. Н. Даренский, старш. преп. Э. А. Беликов

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STIFFNESS OF STRIP REPLENI TRAP-N AND TRAP

Ph.D., A. N. Darenskiy, senior lecturer E. A. Byelikov

У статті надано результати експериментальних досліджень жорсткостей прокладок перспективних скріплень типів ТРЕП і ТРЕП-Ш. Дослідження проводилися в лабораторних умовах для отримання значень статичної та динамічної жорсткості при стисненні, а також жорсткості прокладок при зсуві. Випробувались як нові прокладки, так і прокладки, які були в експлуатації протягом 8 років. Це дало можливість отримати емпіричні залежності параметрів, що досліджувались, від термінів експлуатації.

Ключові слова: жорсткість підрейкової прокладки, коефіцієнт тертя вкладиша по підшві рейки, сила клемного натискання, пружні динамічні вертикальні деформації, сила монтажного натискання клеми.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований жесткостей прокладок перспективных креплений типов ТРЕП и ТРЕП-Ш. Исследования проводились в лабораторных условиях для получения значений статической и динамической жесткости при сжатии и жесткости на сдвиг прокладки. Были исследованы новые прокладки и прокладки, которые были в эксплуатации в течение 8 лет. Исследования прокладок, которые были в эксплуатации, позволили получить эмпирические зависимости изменения указанных параметров от времени.

Ключевые слова: жесткость подрельсовой прокладки, коэффициент трения вкладыша по подошве рельса, сила клемного нажатия, упругие динамические вертикальные деформации, сила монтажного нажатия клеммы.

The article presents the results of experimental studies of horstkorta gaskets fasteners types of TRAP-N and TRAP. These bonds differ from the common bonds of KB less consumption of materials and the lack of threaded connections.

As a result of researches made in the laboratory were obtained stiffness of the gasket when compressed under static and dynamic zagrozenia. To determine the horizontal shear stiffness of bonds of these types were obtained stiffness of the pads when they shift, depending on the size of their compression by the vertical forces.

Studies of pads that have been in use, possible to obtain empirical dependences of change of these parameters over time.

Key words: stiffness of the rail pads, the coefficient of friction of liner along the base of the rail, the terminal pressing force, the elastic dynamic vertical deformation, the force pressing the mounting terminals.

Вступ. Експлуатація та утримання колії промислових залізниць значно відрізняються від магістральних колій загального користування. Найбільш проблемними є вузли прикріплення рейок до залізобетонних шпал. На цей час практично єдиним типом проміжних скріплень у таких умовах є скріплення КБ. Цей тип скріплення має суттєві недоліки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання динаміки взаємодії рухомого складу і колії для умов магістральних залізниць і колій незагального користування розглядалися в роботах [1-4]. Фундаментальний внесок у вирішення питань взаємодії рухомого складу і колії належить таким науковцям: В.І. Ангелейко, Е. І. Даниленко, В. В. Рибкін, В.А. Лазарян, М. А. Фрішман, М.Ф. Веріго, С.П. Першин, В. Ф. Яковлев, А. Я. Коган. У цих дослідженнях використовувалася загальна розрахункова схема колії у вигляді балки на суцільній пружній основі. Ця схема передбачає стабільність пружних дисипативних характеристик підрейкової основи. Така схема для умов промислового транспорту надмірно ідеалізує колію та її технічний стан. У роботах розроблено моделі та методи досліджень сил взаємодії рухомого складу і колії, а також розрахунків напружено-деформованого стану залізничної колії з застосуванням просторової розрахункової схеми колії у вигляді балок-рейок, які впливають на пружно-дисипативні опори-шпали з нелінійними характеристиками.

Мета та задачі дослідження. Метою даної роботи є визначення результатів проведених експериментальних робіт, де були одержані параметри і залежності, що характеризують жорсткість прокладок-амортизаторів проміжних скріплень ТРЕП, ТРЕП-Ш: при стисненні при статичному навантаженні монтажними силами; при стисненні при динамічному навантаженні в діапазонах відповідно до осьових навантажень; емпіричні залежності змін динамічної жорсткості прокладки при

стисненні від термінів служби прокладок у колії; емпіричні залежності змін жорсткості прокладок при зсуві від величини їх стиснення вертикальними силами; емпіричні залежності змін жорсткості прокладки при зсуві від термінів їх служби в колії.

Основна частина дослідження

Пружні характеристики прокладок.

У дослідних розрахунках прийнято приймати жорсткість прокладки величиною постійною, замінюючи їх графічний тип (м'який чи жорсткий) на лінійний: на робочій ділянці методом хорд або дотичних. При цьому важливо правильно вибрати робочу ділянку, оскільки жорсткості елементів скріплень, одержані дослідними методами, можна використовувати тільки в межах тих амплітуд, для яких вироблена лінеаризація.

У роботах [5-11] встановлено, що під дією на вузли проміжних скріплень вертикальних сил жорсткості нешпальних і підрейкових прокладок при стисненні є складовими вертикальної жорсткості скріплень. При дії горизонтальних сил у вузлах скріплень виникають реактивні моменти опорів крученню рейки за рахунок нерівномірного стиснення прокладок, і виникають реактивні сили опору поперечному вигину рейки, на формування яких впливає робота прокладок на зсув.

При стисненні або зсуві гуми та інших полімерних матеріалів деформації продовжуються і після того, як навантаження досягає постійного значення. Якщо ці явища є оборотними, вони називаються пружною післядією [12, 13]. У результаті пружної післядії жорсткості прокладок змінюються залежно від виду діючого навантаження.

Залежність тангенціальної напруги в прокладках від деформацій зсуву в першому наближенні характеризується законом Гука:

$$\tau = G \frac{\psi}{h}, \quad (1)$$

де τ - тангенціальні напруги зсуву, Па;

ψ - деформації зсуву, м;

h - товщина шару гуми або іншого полімерного матеріалу, м;

G - модуль зсуву, Па.

Оскільки $\tau = \frac{R_r}{F_{оп}}$, можна записати

$$R_r = G \cdot F_{оп} \frac{\psi}{h}, \quad (2)$$

де R_r - горизонтальна сила, Н;

$F_{оп}$ - площа опорної поверхні прокладки, м².

Тоді жорсткість прокладки при зсуві визначається як

$$u^r = \frac{R_r}{\psi} = \frac{G \cdot F_{оп}}{h}. \quad (3)$$

Оскільки прокладка працює на зсув будучи стиснутою прикріплюючими клеями і, крім того, нерівномірно стиснутою за рахунок сумісної дії вертикальних R_y і горизонтальних R_x чи

R_z сил, то величина h є змінною. Тому потрібно експериментально визначити залежність жорсткості прокладки при зсуві як функцію величини її стиснення Δh .

Випробування проводилися пресом (дослідний прес з максимальним навантаженням 10 т) ДП-10 при статичних навантаженнях (рис. 1) і на універсальному дослідному пульсуючому гідравлічному пресі УДМ-50 при динамічному навантаженні (рис. 2).

Таким чином, при плануванні експериментальних досліджень пружних характеристик прокладок передбачалося визначити статичну і динамічну жорсткості найпоширеніших типів гумових і гумокордових прокладок скріплень типу ТРЕП і ТРЕП-Ш при стисненні і бічному зсуві.

Прокладки при динамічному навантаженні випробовувалися в спеціальному пристосуванні (рис. 3), яке дозволяє проводити дослідження як на дію тільки сил стиснення (кут нахилу робочого майданчика $\alpha = 0$), так і на сумісну дію

стискальних і зсувних сил. Співвідношення зсувних і стискальних сил задавалося зміною кута нахилу робочого майданчика.



Рис. 1. Випробування на статичне навантаження прокладки ППТ і ПНТ



Рис. 2. Випробування прокладок ППТ і ПНТ при динамічному навантаженні

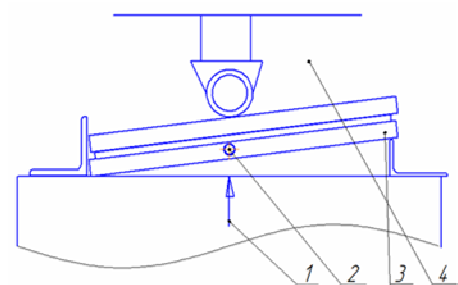


Рис. 3. Схема установки для випробувань прокладок:
1 – навантаження; 2 – мішень відеофіксації перемішень; 3 – робочий майданчик; 4 – дослідні прокладки (підрейкова чи нашпальна)

При статичних випробуваннях на стиснення прокладок навантаження прикладалися безперервно в діапазоні від 0 до 95 кН з постійною швидкістю 0,2 кН/с з подальшим повним розвантаженням.

Інтервали динамічного навантаження при випробуваннях прокладок тільки на стиснення на 100 кН відповідають навантаженням на шпалу при русі екіпажів з осьовими навантаженнями 210 кН, 265 кН, 343 кН, 440 кН.

При статичних випробуваннях деформації прокладок вимірювалися приладами годинникового типу з точністю 0,01 мм. При динамічних застосовувалася відеоцифрова система [14], точність вимірювань була оцінена 0,01 мм. Прокладки випробовувалися при позитивних температурах 12-22 °С. Перед записом деформацій заздалегідь "тренували" прокладки - приблизно 200-300 пульсацій.

При статичних і динамічних навантаженнях випробовувалося по 25 прокладок кожного типу для скріплення ТРЕП і

ТРЕП-Ш. Набуті значення піддавалися статистичній обробці за загальноприйнятою методикою з визначенням мінімальних, максимальних, середніх значень і середньоквадратичних відхилень [18].

Отримані в результаті лабораторних випробувань значення статичної U_{st}

динамічної U_{din} жорсткості прокладок і

середньоквадратичне відхилення цих величин наведені в табл. 1.

Збільшення динамічної жорсткості прокладок типів ППТ і ПНТ порівняно зі статичною жорсткістю складає від 1,7 до 13,7 разу при різних діапазонах навантажень, що узгоджується з даними інших досліджень.

Динамічна жорсткість прокладок зростає в 7,0-7,4 разу зі збільшенням інтервалів навантажень від 20-35 до 55-105 кН. Це можна пояснити, зокрема, деформацією рифлених прокладок і збільшенням їхніх опорних поверхонь.

Таблиця 1

Жорсткості прокладок при стисненні ТРЕП і ТРЕП-Ш на залізобетонних шпалах

Тип скріплення	Призначення прокладки	Статична жорсткість і її середньоквадратичне відхилення 0-50 мм, $\kappa H/м$		Динамічна жорсткість і її середньоквадратичні відхилення, $\kappa H/м$									
				Діапазони навантажень, κH (частота коливань, Гц)									
				20-35 (5,5)		30-57,5 (5,5)		45-87,5 (5,5)		55-105 (5,5)		55-105 (11,0)	
		$u_{ст}$	S	$u_{дин}$	S	$u_{дин}$	S	$u_{дин}$	S	$u_{дин}$	S	$u_{дин}$	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ШПТ	$12,33 \cdot 10^3$	$0,86 \cdot 10^3$	$20,6 \cdot 10^3$	$1,03 \cdot 10^3$	$63,9 \cdot 10^3$	$4,47 \cdot 10^3$	$102,4 \cdot 10^3$	$8,01 \cdot 10^3$	$148,8 \cdot 10^3$	$11,9 \cdot 10^3$	$164,3 \cdot 10^3$	$9,59 \cdot 10^3$
ТРЕП-Ш	ПНТ	$7,97 \cdot 10^3$	$0,32 \cdot 10^3$	$15,2 \cdot 10^3$	$0,91 \cdot 10^3$	$35,3 \cdot 10^3$	$2,12 \cdot 10^3$	$81,7 \cdot 10^3$	$3,27 \cdot 10^3$	$96,2 \cdot 10^3$	$5,77 \cdot 10^3$	$106,4 \cdot 10^3$	$6,36 \cdot 10^3$

З часом відбуваються зміни фізико-хімічних характеристик полімерних матеріалів і їхніх складових. У результаті цих явищ змінюються механічні характеристики матеріалу, що використовується як амортизатор у механічних пристроях і конструкціях, зокрема збільшується жорсткість таких амортизаторів. Зміни механічних характеристик прийнято називати старінням матеріалу. Збільшення амортизаційної жорсткості гумових амортизаторів при стисненні з часом відзначено в роботах [15, 17].

Для визначення кількісних характеристик змін динамічної жорсткості прокладок проміжних скріплень при стисненні в результаті старіння були проведені випробування прокладок, що були в експлуатації, за викладеною вище методикою.

Випробовувались прокладки ПНТ і підрейкова підкладка ППТ, які були зняті з дослідної ділянки «Південно-західної залізниці» після 8 років експлуатації.

У результаті випробувань прокладок, що були в експлуатації, на динамічне

стиснення було встановлено, що жорсткість прокладок типу ПНТ (ТРЕП-Ш) збільшилася в середньому на 20 %, ППТ – на 19 %.

Таким чином, припускаючи лінійну залежність зміни жорсткостей прокладок при динамічному стисненні від терміну їх служби, можна одержати емпіричні рівняння, наведені в табл. 2.

Для визначення залежності жорсткості підрейкових і нашпальних прокладок при зсуві від величини їх стиснення ΔZ вертикальними силами [11] були проведені випробування в установці, яка зображена на рис. 3. Прокладки випробовувалися під дією пульсуючого динамічного навантаження в діапазонах 20-35; 30-57,5; 40-87,5 і 55-105 кН. При кожному діапазоні навантаження кут нахилу робочого майданчика встановлювали послідовно рівним 4^0 та 8^0 . Таким чином, співвідношення, яке зсுவує і стискає, щодо навантажень складало 0,07 та 0,14 при кожному діапазоні навантажень.

Таблиця 2

Залежність змін жорсткостей прокладок при стисненні від терміну їх служби в колії (роки)

Тип скріплення	Тип прокладки	Емпірична залежність $u_{np}^{дин}(t) = f(t) \text{ (кН/м)}$	Середня помилка апроксимації, %
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ППТ	$u_{np}^{дин}(t) = u_{np}^{дин} + 0,08 \cdot 10^4 t$	4,17
ТРЕП-Ш	ПНТ	$u_{np}^{дин}(t) = u_{np}^{дин} + 0,51 \cdot 10^4 t$	2,84

Залежність жорсткостей прокладок при зсуві від величини їх стиснення Δh є показовими функціями і були апроксимовані виразами вигляду

$$U_z^{дин} = a \cdot \Delta z^b, \quad (5)$$

де Δz – величина стиснення прокладки, м;

a, b – емпіричні параметри рівнянь.

Ці параметри були визначені методом якнайменших квадратів за даними випробу-

вань прокладок на сумісну дію стискальних і зсувних сил. Одержана залежність жорсткостей прокладок при зсуві в поперечному $u^{Гz}$ напрямі наведені в табл. 3.

Випробування прокладок, що були в експлуатації, на сумісну дію стискальних і зсувних сил дозволило одержати емпіричну залежність зміни жорсткості прокладок при зсуві від терміну роботи їх у колії. Збільшення цієї жорсткості після 8 років експлуатації для поліуретанових прокладок скріплення ПНТ і ППТ складає в серед-

ньому 23-25 %. Застосовуючи лінійний закон зміни жорсткості прокладок при зсуві

від терміну служби, була одержана орієнтовна залежність, наведена в табл. 4.

Таблиця 3

Залежності змін жорсткостей прокладок при зсуві від величини їх стиснення Δz

Тип скріплення	Тип прокладки	Залежності жорсткості при зсуві $u_{np}^{\Gamma} = f(\Delta z)$, кН/м ($\Delta z \cdot 10^{-3}$, м)	Коефіцієнт кореляції
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ППТ	$u_{ППТ}^{\Gamma} = 2.452 \cdot 10^3 \cdot \Delta z^{2.0312}$	0,9236
ТРЕП-Ш	ПНТ	$u_{ПНТ}^{\Gamma} = 1.865 \cdot 10^3 \cdot \Delta z^{2.4465}$	0,9727

Таблиця 4

Залежності змін жорсткості прокладок при зсуві від терміну їх служби в колії (роки)

Тип скріплення	Тип прокладки	Емпіричні залежності $u_{np}^{\Gamma}(t) = f(t)$ (кН/м)	Середня помилка апроксимації, %
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ППТ	$U_{np}^{\Gamma}(t) = U_{np}^{\Gamma} + 0.11 \cdot 10^4 \cdot t$	4,17
ТРЕП-Ш	ПНТ	$U_{np}^{\Gamma}(t) = U_{np}^{\Gamma} + 0.31 \cdot 10^4 \cdot t$	2,84

Висновок. У результаті проведених експериментальних робіт були одержані такі параметри і залежності, що характеризують жорсткість прокладок-амортизаторів проміжних скріплень ТРЕП, ТРЕП-Ш:

- жорсткості прокладок при стисненні при статичному навантаженні монтажними силами;
- жорсткості прокладок при стисненні при динамічному навантаженні в діапазонах, відповідних осьовим навантаженням

210 кН, 265 кН, 343 кН, 440 кН на вісь спеціального рухомого складу промислового транспорту;

- емпіричні залежності змін динамічної жорсткості прокладки при стисненні від термінів служби прокладок у колії;
- емпіричні залежності змін жорсткості прокладок при зсуві від величини їх стиснення вертикальними силами;
- емпіричні залежності змін жорсткості прокладки при зсуві від термінів їх служби в колії.

Список використаних джерел

1. Bogacz, R. On new effects of wheel-rail interaction/ [Text] R. Bogacz, R.Konowrocki//Archive of Applied Mechanics. – 2012. – Т. 82. – №. 10-11. – P. 1313-1323.
2. Kaiyun Wang, Chao Huang, Wanming Zhai, Pengfei Liu, Shen Wang. Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). – 2014. – № 1. – P. 209-220.
3. Dailydka, S. Modelling the interaction between railway wheel and rail [Text] / J. Sadeghi, S. Shoja // Transport. – 2008. – Т. 23. – №. 3. – С. 236-239.
4. Otero, J. A mathematical model to study railway track dynamics for the prediction of vibration levels generated by rail vehicles [Text] / J. Otero, M.A. Martínez, de los Santos,

S.Cardona // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F:Journal of Rail and Rapid Transit. – 2011. – P. 62-71.

5. Даренський, О. М. Аналіз просторової жорсткості скріплення типу КППТ-7 [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 151. – Т. 2. – С. 185.

6. Даренський, О. М. Перспективні конструкції проміжних скріплень для умов промислового залізничного транспорту [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – № 2. – С. 57-61.

7. Даренський, О. М. Аналіз розвитку теорій розрахунків залізничних колій [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 149-155.

8. Даренський, О. М. Аналіз горизонтальної поперечної жорсткості скріплення КППТ-7 [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 155. – С. 28-30.

9. Даренський, О. М. Жорсткість скріплень КППТ-7 під дією горизонтальних поперечних сил [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Залізничний транспорт України. – 2015. – № 5. – С. 33-36.

10. Даренський, О. М. Аналіз вертикальної просторової жорсткості скріплення типу КППТ-7 [Текст] // О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 155. – С. 190-195.

11. ГОСТ 252-75. Резина. Метод определения относительного гистерезиса и полезной упругости при растяжении [Текст]. – Введ. 01.01.77 до 01.01.87. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 5 с.

12. Дырда, В. И. Расчет силовых резинотехнических изделий, используемых в горном машиностроении [Текст] / В. И. Дырда, А. В. Мазнецова, Т. Е. Твердохлеб. – М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1991. – 64 с.

13. Даренский, А. Н. Видеоцифровая система элементов измерения перемещений железнодорожного пути [Текст] / А.Н. Даренский, Н.В. Бугаец, В.Г. Витольберг // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 222-231.

14. Карпущенко, Н. И. Совершенствование рельсовых скреплений [Текст] / Н. И. Карпущенко, Н. И. Антонов. – Новосибирск: Изд-во СГУСа, 2003. – 300 с.

15. Ладыгин, Ю. Н. Лабораторные испытания рельсовых скреплений [Текст] / Ю. Н. Ладыгин, Ю. М. Стойда // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 12. – С. 8-12.

16. Технічні вказівки з використання старопридатних матеріалів верхньої будови колії на залізницях України (ЦП-0150) [Текст]. – К.: Держ. адмін. залізн. транспорту України, 2006. – 56 с.

17. Даренський, О. М. Експериментальне визначення пружних характеристик елементів проміжного скріплення КПП-5 [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць ДонНІИЖТ. – 2008. – № 13. – С. 139-143.

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту.

Беліков Едуард Анатолійович, старший викладач, завідувач навчальної лабораторії кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-67.

Darenskiy Alexander Nikolaevich, Ph.D., Professor of Department "Road and Track facilities", Ukrainian State University of Railway Transport.

Byelikov Eduard Anatolyevich, senior lecturer, head of school laboratory of the Department «Road and trak acilities» Ukrainian state University of railway transport. Tel. 730-10-67.

Стаття прийнята 25.04.2017 р.