УДК 625.143.472 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.161.2016.76700

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЖОРСТКОСТІ ПІДРЕЙКОВИХ ПРОКЛАДОК ДЛЯ ПРОМІЖНИХ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ ТИПУ "МЕТРО"

Асп. А. С. Малішевська

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕСТКОСТИ ПОДРЕЛЬСОВЫХ ПРОКЛАДОК ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ ТИПА "МЕТРО"

Асп. А. С. Малишевская

EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF THE STIFFNESS OF RAIL PADS FOR RAIL FASTENINGS SUCH AS "METRO"

Postgraduate student A. S. Malishewska

Для виконання розрахунків сил взаємодії колії та рухомого складу і розрахунків елементів верхньої будови колії на міцність необхідно, зокрема, знати параметри просторової жорсткості підрейкової основи. Якщо для умов магістральних залізниць ці параметри відомі, то для колій метрополітенів це питання потребує додаткових досліджень. У даній статті викладено порядок проведення і результати експериментальних досліджень динамічної і статичної жорсткостей підрейкових прокладок для рейкового скріплення типу "Метро".

Ключові слова: *підрейкова прокладка, деформація, випробування, скріплення, жорсткість, навантаження, зсув, стиснення.*

Для выполнения расчетов сил взаимодействия пути и подвижного состава и расчетов элементов верхнего строения пути на прочность необходимо, в частности, знать параметры пространственной жесткости подрельсового основания. Если для условий магистральных железных дорог эти параметры известны, то для путей метрополитенов этот вопрос требует дополнительных исследований. В данной статье изложены порядок проведения и результаты экспериментальных исследований динамической и статической жесткостей подрельсовых прокладок для рельсового скрепления типа "Метро".

Ключевые слова: *подрельсовая прокладка, деформация, испытания, скрепления, жесткость, нагрузка, смещение, сжатие.*

Stiffness is an important characteristic, without which it is not possible to ensure reliable operation of the elements of the upper structure of railway track. To perform the calculations of forces of interaction paths and rolling stock, and calculation of the elements of strength necessary, in particular, know the parameters of the spatial stiffness of the rail Foundation. If the conditions of trunk Railways, usually known, for the paths of subways, this question requires additional research. In our article we propose a method of finding the stiffness parekowhai strip for fastening type "Metro".

Keywords: *rail strip, deformation, test, bond, stiffness, load, shift, compression.*

Вступ. Жорсткість є важливою характеристикою, без врахування якої не можна забезпечити надійну роботу елементів верхньої будови залізничної колії

(ВБК). У процесі експлуатації будь-якої залізничної колії через недостатню пружність рейкових опор виникають залишкові деформації, що зменшує ресурс роботи конструкції ВБК і може призвести до її відмови. В той же час залишкова жорсткість збільшує рівень віброприскорень, що шкідливо впливає не тільки на колію, але і на рухомий склад, а в умовах метрополітену ще і на тунельне обладнання, і на міські будівлі, які розташовані поблизу траси метрополітену.

Очевидно, що жорсткість залізничної колії залежить від жорсткостей елементів ВБК. Зараз на метрополітенах України найпоширенішою є конструкція типової ВБК, яка містить рейки Р50, проміжні скріплення типу "Метро" і дерев'яні шпали, які омонолічені у бетоні. У свою чергу проміжне скріплення типу "Метро" складається з декількох елементів, до яких належать і полімерні підрейкові прокладки.

Через складні процеси, які виникають при навантаженні на підрейкову прокладку, теоретично визначити її жорсткість стає неможливою задачею. Тому для розрахунку жорсткості ВБК зі скріпленням типу "Метро" за відомою розрахунковою схемою [1] необхідно визначити відсутню складову – жорсткість підрейкової прокладки, яка виконана із полімерних матеріалів.

У даній статті пропонується це зробити експериментальними методами.

Аналіз досліджень і публікацій. На явищі збільшення жорсткості прокладок скріплень КБ та КПП-5 при динамічному навантаженні наголошувалось багатьма дослідниками. Так, у роботах [2-5] встановлено збільшення жорсткості підрейкових та нашпальних прокладок скріплень типу КБ при динамічному навантаженні на 22-70 %, ніж при статичному навантаженні. В роботах [6-8] для умов колій незагального користування встановлено збільшення динамічної жорсткості таких прокладок до 89 % при різних значеннях навантаження, а також встановлені залежності горизонтальної поперечної жорсткості підрейкових та нашпальних прокладок скріплень КБ та КПП у процентах від величини стиснення прокладок вертикальними силами. Також були розглянуті іноземні видання [9,10].

Однак у зазначених роботах немає даних про залежність жорсткості підрейкових прокладок метрополітенів від частоти динамічного навантаження у діапазоні реальних коливань при русі рухомого складу (1-11 Гц). Не наведені дані про жорсткість прокладок на зсув під дією горизонтальних поперечних сил.

Мета. Експериментально визначити:

- жорсткість зсуву підрейкових прокладок для скріплення типу "Метро" залежно від статичних навантажень ($u_z^{ст}$ – статичну жорсткість прокладок) і від динамічних навантажень ($u_z^{дин}$ – динамічну жорсткість прокладок);
- залежність зміни динамічної жорсткості прокладок від часу в процесі експлуатації.

Основна частина. Відомо, що залежність тангенціальних напружень у прокладках від деформації зсуву характеризується законом Гука:

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

де τ – тангенціальні напруження зсуву, Па;

ψ – деформація зсуву, м;

h – товщина шару гуми або іншого полімеру, м;

G – модуль зсуву, Па.

Після перетворень можна отримати наступний вираз для жорсткості прокладки при зсуві

$$u_y = G\frac{F_{оп}}{h}, \qquad (2)$$

де u_y – жорсткість прокладки при зсуві;

$F_{оп}$ – опорна площа поверхні прокладки, м^2.

Оскільки в реальних умовах підрейкова прокладка скріплення "Метро"

працює на зсув будучи нерівномірно стислою, за рахунок спільної дії вертикальних R_z і горизонтальних R_y сил, величина h є змінною. Тому треба експериментально визначити залежність жорсткості прокладок при зсуві як функцію величини її стиснення.

Протягом часу відбуваються зміни фізико-хімічних характеристик полімерних матеріалів, у тому числі гуми. Внаслідок цих дій змінюються механічні характеристики прокладок, зокрема збільшується їх жорсткість. Зміни механічних характеристик полімерних прокладок прийнято називати старінням матеріалу. Збільшення жорсткості прокладок скріплення КБ і КПП-5 у процесі експлуатації зазначається в роботах [2-5, 6,7,8].

Таким чином, при плануванні експериментальних досліджень передбачалося визначити статичну і динамічну жорсткість полімерних підрейкових прокладок скріплення "Метро" типів 160 і 195 при стисненні і бічному зсуві одночасно. Крім того, з метою визначення зміни механічних характеристик випробувались прокладки, які були в експлуатації протягом 10 років.

Випробування прокладок при статичному і динамічному навантаженні проводилися на пульсуючому гідравлічному пресі типу УМП-50 (див. рисунок).

Рис. Пристрій для випробування прокладок

Статичні випробування на стиск проводилися під дією навантаження від 0 до 40 кН з постійною швидкістю 0,2 $\frac{кН}{с}$ з подальшим розвантаженням.

Інтервали динамічного навантаження при випробуваннях прокладок на стиск і сумісну дію стискних і зсувних сил були прийняті від 20 до 35 кН, що відповідає реальним навантаженням на вузол скріплення метрополітену в реальних умовах.

Навантаження фіксувалися на монометрах преса. Динамічні випробовування проводилися при частотах пульсуючого навантаження 5,5 та 11 Гц, що відповідає швидкостям проходження осей вагона метро відповідно 35 та 70 $км/год$ з відстанню між осями 2,2 метра. Деформації прокладок вимірювались за допомогою відеоцифрової системи, яка була розроблена на кафедрі колії і колійного господарства УкрДУЗТ [6,7,8]. Прокладки випробовувались при плюсових температурах 18-20 ^{0}С. Перед записом інформації заздалегідь "тренували" прокладки 200-300 пульсацій.

Випробування прокладок проводились у спеціальному пристрої (див. рисунок), який надає можливість проводити випробування як на дію тільки сил стиску, так і на сумісну дію стискних і зсувних сил. Співвідношення цих сил задавалося кутом нахилу робочої площадки.

При статичних та динамічних навантаженнях випробовувалось по 25 прокладок кожного типу. Отримані значення піддавались статистичній обробці з визначенням мінімальних і максимальних середніх значень та середньоквадратичних відхилень. Набуті в результаті цих випробувань значення жорсткостей прокладок $u_z^{ст}$, $u_z^{дин}$ та їх середньоквадратичні відхилення S наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Жорсткість підрейкових прокладок скріплення "Метро"

Тип прокладки, мм	Статична жорсткість, $\frac{кН}{м}$		Динамічна жорсткість, $\frac{кН}{м}$			
			Частота навантаження			
			5,5 Гц		11 Гц	
	$u_z^{ст}$	S	$u_z^{дин}$	S	$u_z^{дин}$	S
160	$20,89 \cdot 10^3$	$0,83 \cdot 10^3$	$43,4 \cdot 10^3$	$2,17 \cdot 10^3$	$44,9 \cdot 10^3$	$2,20 \cdot 10^3$
195	$28,88 \cdot 10^3$	$1,25 \cdot 10^3$	$84,8 \cdot 10^3$	$5,05 \cdot 10^3$	$152,2 \cdot 10^3$	$9,13 \cdot 10^3$

На відміну від прокладок скріплень КБ та КПП-5, збільшення динамічної жорсткості підрейкових прокладок скріплення "Метро" складає 2,1-2,15 разу для прокладок типу 160, та 2,93-5,26 разу для прокладок типу 190. Цей факт можна пояснювати тим, що, на відміну від прокладок для скріплень КБ та КПП-5, прокладки скріплення "Метро" не мають рифлень, а жорсткість гумових та полімерних прокладок істотно залежить від коефіцієнта форми.

Крім того, встановлено, що жорсткість прокладок 160 при стисненні практично не залежить від частоти навантаження (різниця не перевищує 3 %), але для прокладок типу 195 при зростанні частоти навантаження від 5,5 до 11 Гц її динамічна жорсткість зростає майже у 2 рази. Можна припустити, що такі зміни обумовлені хімічним складом гуми прокладки.

Випробування прокладок, які були в експлуатації протягом 10 років, дали змогу встановити, що динамічна жорсткість прокладок на стиск збільшилась у середньому на 20 % для прокладок типу 160 і на 27 % для прокладок типу 190. Припускаючи лінійну залежність зміни жорсткості прокладки при динамічному стисненні від терміну її служби, можна одержати емпіричні залежності, які подані в табл. 2.

Таблиця 2

Залежність зміни жорсткостей прокладок при динамічному стисненні в процесі експлуатації

Тип прокладки	Емпірична залежність, $u_z^{дин}=f(t)$ $\frac{кН}{м}$	Середня помилка апроксимації, %
160	$u_z^{дин}(t)= u_z^{дин}+0,87\cdot 10^3 t$	4,17
195	$u_z^{дин}(t)= u_z^{дин}+1,54\cdot 10^3 t$	4,34

Для визначення залежності жорсткості покладок при зсуві від величини їх стиснення (формула (2)) в установці (див. рисунок) прокладки випробувались при куті нахилу робочої площадки, який встановлювався послідовно рівним 5°, 10°, 15°. Таким чином співвідношення зсувних і стискних навантажень складало 0,09, 0,18 і 0,27.

Залежність жорсткості прокладки при зсуві від величини її стиснення Δh є показовими функціями і були апроксимовані виразами

$$u_z^{дин} = a+b\cdot\Delta h^c, \qquad (3)$$

де Δh – величина стиснення прокладки, м;
a, b, c – емпіричні параметри рівняння.

Ці параметри були визначені за допомогою табличного процесора EXL за даними випробуваннями. Одержані залежності жорсткості прокладки при зсуві наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Зміни жорсткості прокладки при зсуві від величини стиснення

Тип прокладки	Залежність жорсткості при зсуві, $u_z=f(\Delta h)\ \frac{кН}{м}$	Середня помилка апроксимації, %
160	$43{,}2\cdot 10^3+367{,}3\cdot 10^5\ \Delta h^{0{,}985}$	3,6
195	$51{,}4\cdot 10^3+1402{,}3\cdot 10^5\ \Delta h^{0{,}974}$	4,9

Випробування прокладок, що були в експлуатації, на сумісну дію стискних і зсувних сил дало змогу одержати залежності змін жорсткості прокладок при зсуві від терміну їх роботи в колії. Збільшення таких жорсткостей після 10 років експлуатації склало в середньому 23-34 %.

Застосовуючи лінійний закон зміни цих жорсткостей від терміну служби, були одержані залежності, які подані в табл. 4.

Таблиця 4

Залежність зміни жорсткості прокладки при зсуві від терміну експлуатації

Тип прокладки	Емпірична залежність, $u_y^{дин}(t)=f(t)\ \frac{кН}{м}$	Середня помилка апроксимації, %
160	$u_y^{дин}(t)= u_y +0{,}26\cdot 10^4\ t$	4,17
195	$u_y^{дин}(t)= u_y +0{,}37\cdot 10^4\ t$	5,22

Висновки. Одержані залежності жорсткості підрейкових прокладок для проміжних рейкових скріплень типу "Метро" при зсуві від величини стиснення. Для прокладок типу 160 статична жорсткість становить 20,89 $\cdot 103\ \frac{кН}{м}$. Динамічна жорсткість при частоті 5,5 Гц складає 43,4 $\cdot 103\frac{кН}{м}$, а при 11 Гц – 44,9 $\cdot 103\frac{кН}{м}$. Для прокладок типу 195 статична жорсткість – 28,88 $\cdot 103\frac{кН}{м}$, а при 11 Гц відповідно 152,2 $\cdot 103\frac{кН}{м}$.

Також випробування прокладок, що були в експлуатації протягом 10 років, визначили, що динамічна жорсткість прокладок на стиск збільшилась у середньому на 20 % для прокладок типу 160 і на 27 % для прокладок типу 190.

Таким чином, у результаті проведення експериментальних робіт, були одержані параметри жорсткості прокладок при їх стисненні і зсуві, а також залежності змін цих жорсткостей під час експлуатації колії.

Список використаних джерел

1. Малішевська, А. С. Формування просторової жорсткості рейкових опор метрополітену [Текст] / А. С. Малішевська, Д. А. Фаст // Иваново: Научный мир. – 2015. – Вып. 2, Т. 1. – С. 48-55.

2. Шахунянц, Г.М. Некоторые вопросы исследования работы резиновых прокладок повышенной упругости для пути с железобетонными шпалами [Текст] / Г. М. Шахунянц, А. А. Демидов // Тр. МИИТ. – М.: Транспорт, 1971. – Вып. 354. – С. 24-32.

3. Купцов, В. В. Методики определения жесткости резиновых прокладок-амортизаторов на сжатие [Текст] / В. В. Купцов // Труды ВНИИЖТ. – М., 1979. – № 616. – С. 36-54.

4. Карпущенко, Н. И. Расчет упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений [Текст]: монография / Н. И. Карпущенко // Труды НИИЖТ. – М., 1972. – №135. – С. 41-48.

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

6. Даренський, О. М. Експериментальне визначення пружних характеристик прокладок проміжних скріплень КБ [Текст] / О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 87. – С. 172-178.

7. Даренський, О. М. Просторова жорсткість проміжного скріплення типу КПП-5 [Текст] / О. М. Даренський // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНИИЖТ, 2007. – Вип. 10. – С. 100-109.

8. Даренський, О. М. Експериментальне визначення пружних характеристик елементів проміжного скріплення КПП-5 [Текст] / О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНИИЖТ, 2008. – Вип. 13. – С. 139-143.

9. Bogacz R., Czyczuła W., Konowrocki R. Influence of sleepers shape and configuration on track-train dynamics [Text] //Shock and Vibration. – 2014. – Т. 2014.

10. Frangopol D. M., Liub M. Structure and infrastructure engineering: Maintenance, management, life-cycle design and performance [Text] // Struct. Infrastruct. Eng. – 2011. – Т. 7. – №. 6. – P. 389-413.

Рецензент д-р техн. наук, професор О. М. Даренський

Малішевська Аліна Сергіївна, аспірант кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (093)020-18-43.

Maliszewski Alina Sergeevna, postgraduate student of the Department of road and track facilities of Ukrainian state University of railway transport. Tel.: (093) 020-18-43. E-mail: kttolik@yandex.ua.

Стаття прийнята 27.04.2016 р.