



наименьшему зашумлению. Наиболее информативным и наглядным является распределение мгновенной мощности в пространстве (рис.4). Выбросы характеризуют нарушение поверхности подшипника, увеличение размаха соответствуют увеличенному зазору и дисбалансу вала. Обработка сигнала мгновенной мощности не ограничивается показанными в примере возможностями.

Данный метод позволяет диагностировать любой механизм, работа которых как-то связано с колебаниями.

Литература:

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./ Ред. совет: В 41 В.Н. Челомей (пред.) – М.: Машиностроение, 1981, - Т.5. Измерения и испытания. – Под ред. М.Д. Генкина. 1981. 496.с.,ил..

Научный руководитель: к.т.н., доцент. Федяев В.Л.

Статья отправлена: 05.11.2014г.

© Федяев В.Л., Семенов А.Е., Степин А.В., Абзалов В.Р.

ЦИТ: m215-150

УДК 625.42

Малішевська А.С., Фаст Д.А.

ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ЖОРСТКОСТІ РЕЙКОВИХ ОПОР МЕТРОПОЛІТЕНУ

Український державний університет залізничного транспорту,
Харків, пл. Фейєрбаха 7, 61050

Malishevskaya A.S., Fast D.A.

FORMATION OF SPATIAL STIFFNESS METRO RAIL SUPPORTS

Ukrainian State University of Railway Transport,
Kharkiv, Feerbacha sq. 7, 61050

Анотація. Для виконання розрахунків сил взаємодії колії та рухомого складу і розрахунків елементів на міцність необхідно, зокрема, знати параметри просторової жорсткості підрейкової основи. Якщо для умов магістральних залізниць, як правило, відомі, то для колій метрополітенів це питання потребує додаткових досліджень. В статті зроблена спроба розробки математичної моделі просторової жорсткості рейкових опор колій метрополітенів.

Ключові слова: рейкова опора, скріплення, верхня будова, шпали, рейки, прокладка, підкладка, жорсткість, деформація, система.

Abstract. To perform the calculation of forces of interaction track and rolling stock and calculations on the strength necessary, in particular, to know the parameters of spatial stiffness rail base. If the conditions for mainline railways are generally known, the ways for subways this issue requires further study. The paper attempts to develop a mathematical model of spatial stiffness rail supports ways subways.

Key words: rail support, bond, permanent way, sleepers, rails, under-rail pad,



sleeper padding lining, stiffness, deformation, system.

Вступ. У процесі експлуатації залізничної колії при недостатній жорсткості рейкових опор накопичуються залишкові деформації. Це може призвести до несправностей і зменшення ресурсу роботи конструкції. Тому жорсткість є важливою характеристикою, яка забезпечує надійну роботу елементів верхньої будови колії.

В даний час на метрополітенах України, як і всього пострадянського простору, найбільшого поширення набули рейки Р50, проміжні рейкові скріплення типу «Метро» і дерев'яні шпали, які омонолічені у бетоні. Такі конструктивні відмінності істотно впливають на методику розрахунку міцності елементів верхньої будови колії.

Аналіз досліджень і публікацій. Результати досліджень міцності верхньої будови залізничної колії відображені в працях багатьох авторів. Фундаментальні дослідження з цієї теми проводив український вчений д. т. н. Е.І. Даніленко. Під його керівництвом отримала подальший розвиток концепція багат шарової підрейкової основи та вперше застосовано новий підхід до визначення стійкості рейко-шпальної решітки під дією поздовжніх сил [2]. Вертикальні та поперечні горизонтальні сили, які діють на колію, вивчав д. т. н. А.Я. Коган [3, 4]. Всі ці дослідження проведені, переважно, в області магістрального залізничного транспорту. Д. т. н. О.М. Даренський для умов колій незагального користування розробив моделі і методи визначення сил взаємодії колії та рухомого складу. Для цього була використана загально-розрахункова схема колії у вигляді балок-рейок, що спираються на багато пружно-дисипативних опор [5-8].

На Україні існує розвинена мережа метрополітенів, які мають істотну специфіку конструкції залізничної колії, особливо одиночних рейкових скріплень і підрейкової основи. Найбільш близько умови взаємодії елементів колії для метрополітену розглядав Н.Д. Кравченко [1], однак, в його роботі була розглянута менш поширена конструкція колій.

Мета. В даній публікації наводяться методики розрахунку вертикальної і поперечно-горизонтальної жорсткості рейкового скріплення типу «Метро» та визначення необхідних параметрів для запропонованої методики.

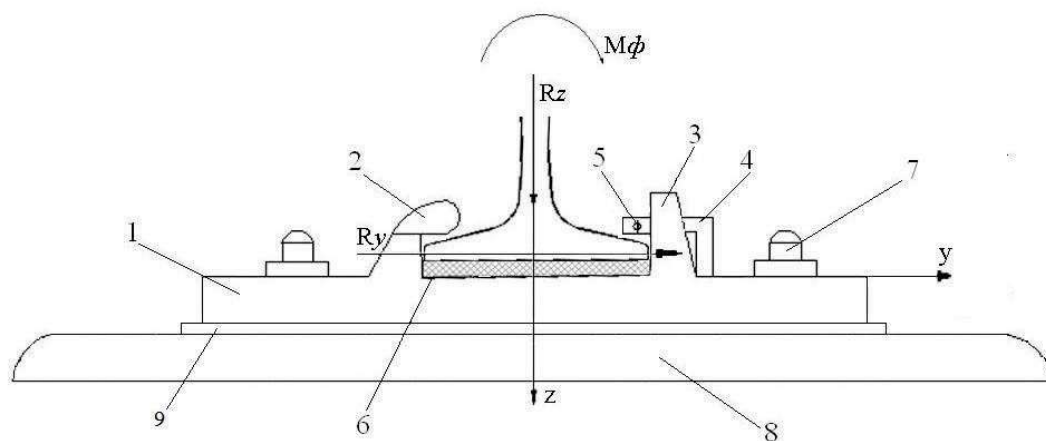
Основна частина. Як правило, пружні лінійні і кутові переміщення рейки на опорі складаються з переміщень за рахунок деформацій пружних елементів у вузлі проміжного скріплення і пружних переміщень шпал в баласті.

Очевидно, що жорсткість залізничної колії залежить від типу елементів верхньої будови колії: рейок, проміжних рейкових скріплень, шпал і баласту.

Щодо окремої рейкової опори залізничної колії, то її просторова жорсткість визначається як приріст навантаження на опорі до відповідного приросту деформації опори. Конструкція і розрахункова схема для визначення просторової жорсткості скріплення типу «Метро» наведена на рис. 1.

Як видно з рис. 1, просторова жорсткість опори може характеризуватися трьома характеристиками:

- вертикальною жорсткістю – C_z ;
- горизонтальною поперечною жорсткістю – C_y ;



1 – підкладка, 2 – ланчаста реборда, 3 – висока реборда, 4 – маятниковий штир; 5 – шплінт розвідний; 6 – пружна підрейкова прокладка (поліхлорвінілова); 7 – шуруп; 8 – дерев'яна шпала; 9 – нащпальна прокладка з пресованої деревини

Рис. 1. Конструкція і розрахункова схема проміжного скріплення типу «Метро»

- жорсткістю при крученні рейки під дією горизонтальної поперечної сили – C_{φ} .

Згідно визначенню, яке надано вище щодо окремої рейкової опори залізничної колії, характеристики просторової жорсткості будуть мати вигляд

$$\left. \begin{aligned} C_z &= \frac{R_{z2} - R_{z1}}{z_2 - z_1}; \\ C_y &= \frac{R_{y2} - R_{y1}}{y_2 - y_1}; \\ C_{\varphi} &= \frac{M_{\varphi 2} - M_{\varphi 1}}{\varphi_2 - \varphi_1}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де R_{z2}, R_{z1} – вертикальні навантаження на опору, Н;

R_{y2}, R_{y1} – горизонтальні поперечні навантаження на опору, Н;

$M_{\varphi 1}, M_{\varphi 2}$ – крутячий момент, який діє на опору, Н·м;

z_1, z_2, y_1, y_2 – пружні деформації опори в вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках при навантаженнях, відповідно R_2 і R_1 , м;

φ_1, φ_2 – кути повороту рейки на опорі під дією крутячих моментів, рад.

Значення навантажень R_1 і R_2 вибирають з умов фактичних навантажень на опору, при яких залежність $z = f(R)$, $y = f(R)$, $x = f(R)$ і $\varphi = f(R)$ набувають характеру, близького до лінійного.

Лінійні і кутові переміщення рейки на опорі складаються з переміщень за рахунок деформацій пружних елементів в вузлі проміжного скріплення і пружних переміщень шпали в баласті.

Як було сказано вище, в коліях метрополітенів застосовується проміжні рейкові скріплення типу «Метро» (рис. 1), та дерев'яні шпали, які закладені у



монолітний бетон. Специфіка конструкції скріплення типу «Метро» в тому, що воно не створює опір рейкам при їх кутових переміщеннях (крученні), тому жорсткість опори при крученні рейки у цьому випадку буде дорівнювати нулю.

Крім того, горизонтальні поперечні переміщення дерев'яних шпал, які омонолічені у бетоні не можливі, тому горизонтальна поперечна жорсткість опори для колій метрополітену складається виключно з горизонтальної поперечної жорсткості скріплення.

З урахуванням вище наведеного, та переходячи до складових просторової жорсткості, можна записати

$$\left. \begin{aligned} C_z &= \frac{C_{zCK} \cdot C_{zШ}}{C_{zCK} + C_{zШ}}; \\ C_y &= C_{yCK}; C_\varphi = 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де C_{zCK} , C_{yCK} – жорсткості проміжного скріплення «Метро» в вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках, Н/м;

$C_{zШ}$ – вертикальна жорсткість системи «шпала–бетонна підшпальна основа», Н/м.

Розглянемо формування цих жорсткостей при скріпленні типу «Метро». Виходячи з конструкції проміжного скріплення типу «Метро» деформації під дією вертикальної сили можна представити як

$$z_{CK} = z_1 + z_2, \quad (3)$$

де z_1 – вертикальна деформація за рахунок підрейкової прокладки, м;

z_2 – вертикальна деформація за рахунок стиску шпали поперек волокон та зминання деревини під підкладкою, м.

Виражаючи деформації через вертикальну реакцію скріплення на дію зовнішнього навантаження R_z і відповідні жорсткості, одержимо

$$\frac{R_z}{C_{zCK}} = \frac{R_z}{C_{zCK1}} + \frac{R_z}{C_{zCK2}}. \quad (4)$$

Тоді вертикальна жорсткість вузла скріплення

$$C_{zCK} = \frac{C_{z1} \cdot C_{z2}}{C_{z1} + C_{z2}}, \quad (5)$$

де C_{z1} – вертикальна жорсткість підрейкової прокладки (система 1);

C_{z2} – вертикальна жорсткість дерев'яної шпали під підкладкою (система 2).

Тоді

$$C_{z1} = u_{z1}^{дин}, \quad (6)$$

де $u_{z1}^{дин}$ – вертикальна динамічна жорсткість підрейкової прокладки при стисненні, Н/м.

Оскільки жорсткість резинових прокладок істотно залежить від швидкості



її стиснення, величину $u_{z_1}^{дин}$ необхідно визначити експериментально.

Далі розглянемо дію вертикального навантаження на систему (рис. 2).

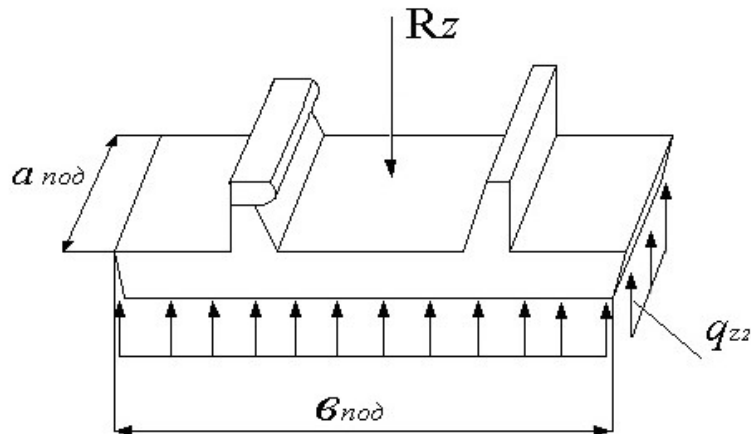


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення вертикальної жорсткості скріплення «Метро»

Приймаючи пружний опір деревини рівномірно розподіленим за площею підкладки, можна записати

$$R_z = \omega_n \cdot q_{z_2}, \quad (7)$$

де ω_n – площа підрейкової підкладки скріплення метро, м²;
 q_{z_2} – розподілений пружний опір деревини, Н/м².

Використавши розрахункову величину $C_{нос}$ отримаємо

$$q_{z_2} = C_{нос} \cdot z_{скр}^{cp}, \quad (8)$$

де $C_{нос}$ – коефіцієнт постелі підкладки, який характеризує пружні властивості деревини при її зминанні і стисканні поперек волокон і чисельно рівний навантаженню, яке прикладене до однієї площі деревини і викликає одиночну пружну деформацію, Н/м³;

$z_{скр}^{cp}$ – середнє значення вертикальної пружної деформації в скріпленні «Метро», м.

Металева підкладка повинна розглядатися у вигляді пластини, яка розташована на пружній основі і працює під дією вертикальних сил. Прогини її в підрейковому перетині виявляються більшими, ніж це було б у разі жорсткого штампу. Проте при визначених пружних властивостях деревини не під штампом, а під металевою підкладкою скріплення, в результаті експериментальних робіт можна набути значення $C_{под}$ з урахуванням жорсткості підкладки.

З урахуванням висловленого, вертикальну жорсткість шпали під підкладкою можна визначати як

$$C_z = \omega_n \cdot C_{нос}. \quad (9)$$

Горизонтальна поперечна жорсткість вузла скріплення $C_{yск}$, як і



вертикальна, може бути визначена з урахуванням послідовно з'єднаних жорсткостей першої та другої систем

$$C_{yCK} = \frac{C_{y1} \cdot C_{y2}}{C_{y1} + C_{y2}}. \quad (10)$$

Горизонтальні поперечні переміщення підшви рейки за рахунок першої системи можливі в межах зазору Δ_1 між бічними гранями підшви та реборами підкладки.

Крім того, підшва рейки у скріпленні «Метро» при його монтажі не притискається прикріплювачем до підрейкової прокладки. Пружний опір горизонтальним поперечним силам можливий тільки за рахунок жорсткості підрейкової прокладки при її зсуві.

Таким чином, для першої системи можна записати

$$\left. \begin{aligned} y_1 = 0 \div < \Delta_1; C_{y1} = u_y^{\text{дин}} \\ y_1 = \Delta_1; C_{y1} = \infty \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

де $u_y^{\text{дин}}$ – горизонтальна поперечна жорсткість підрейкової прокладки при її зсуві, Н/м.

Оскільки жорсткість резинових прокладок істотно залежить від величини її стиснення вертикальними силами, величину $u_y^{\text{дин}}$ необхідно експериментально визначити у вигляді функції від величини її стиснення

$$u_y^{\text{дин}} = f(\Delta h), \quad (12)$$

де Δh – зміна висоти підрейкової прокладки за рахунок її стиснення, м.

Підрейкова прокладка стискається вертикальним навантаженням від рухомого складу

$$\Delta h = z, \quad (13)$$

Тоді жорсткість першої системи можна визначити як

$$C_{y1} = f\left(\frac{R_z}{u_z^{\text{дин}}}\right), \quad (14)$$

де R_z – вертикальна сила, яка діє на окрему конкретну опору, Н.

Розрахункова схема для визначення горизонтальної поперечної жорсткості системи підкладка–коліїні шурупи (2 система) наведена на рис. 3.

Ця схема застосована за таких умов: для горизонтальної сили R_y викликає тільки горизонтальне переміщення рейки без її кручення; між підшвою рейки, підкладкою і шурупами зазори відсутні.

Умова рівноваги у вузлі скріплення буде мати вигляд

$$R_y = F_{mp} + m \cdot Q_{ш}, \quad (15)$$

де F_{mp} – сила тертя підкладки по шпалі, Н;

$Q_{ш}$ – опір одного шурупа поперечному віджиманню;

m – кількість шурупів у вузлі скріплення ($m = 4$).

До подолання сили тертя F_{mp} , горизонтальних поперечних деформацій у другій системі не відбувається.

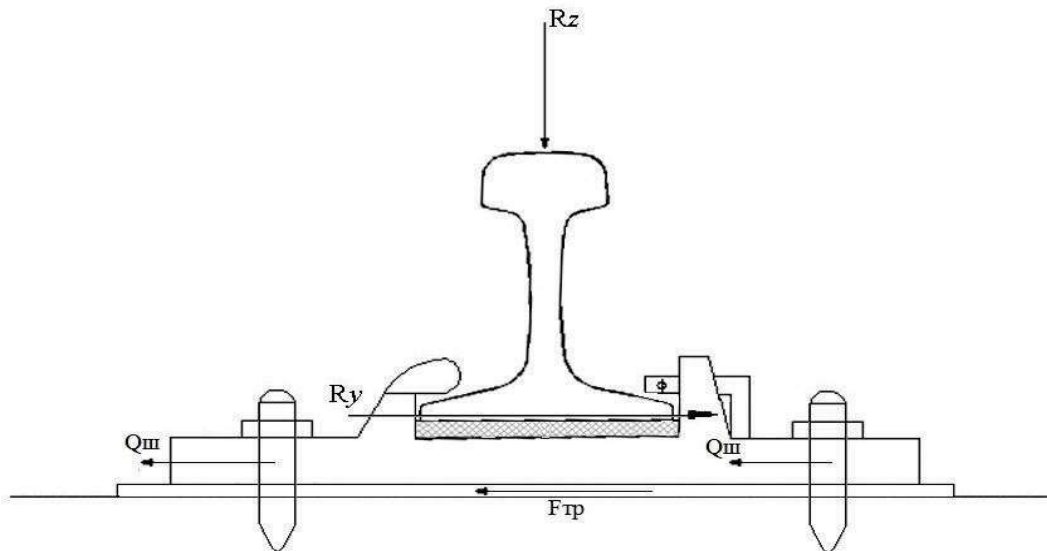


Рис. 3. Схема завантаження скріплення «Метро» поперечним навантаженням

Тоді умови прояви і формування горизонтальної поперечної жорсткості 2 системи можна представити наступними виразами

$$\left. \begin{array}{l} - \text{при } R_y < f_{\text{нод}} \cdot R_z, C_{y1} = \infty; \\ - \text{при } R_y \geq f_{\text{нод}} \cdot R_z, C_{y1} = m \cdot C_{ш}, \end{array} \right\}, \quad (16)$$

де R_y, R_z – діючі на одну опору вертикальна і горизонтальна поперечна сили, Н;

$f_{\text{нод}}$ – коефіцієнт тертя підкладки по шпалі;

$C_{ш}$ – жорсткість шурупа при віджиманні, Н/м.

У залізничних коліях, в яких дерев'яні шпали укладені на баласт, деформації підрейкової основи формуються на 50-70 % за рахунок пружних деформації баласту та земляного полотна. Але оскільки дерев'яні шпали у метрополітені спираються не на баласт, а на бетонну монолітну основу, то деформація підрейкової основи під дією вертикальних сил практично відсутня.

Таким чином, вертикальна жорсткість системи шпала–бетонна підшпальна основа C_{zm} обумовлюється тільки пружними властивостями дерев'яних шпал при її зминанні та стисканні поперек волокон. Цей параметр, з урахуванням отриманого раніше виразу (9), можна визначити як

$$C_{zm} = w_{ш} \cdot C_{\text{нос}}, \quad (17)$$

де $w_{ш}$ – площа обпирання шпали на бетонну основу, м².

Висновки: Таким чином, для визначення жорсткостей скріплення типу «Метро» та їх змін під час експлуатації необхідні такі величини: жорсткості підрейкових прокладок $u_z^{\text{дин}}$ та $u_y^{\text{дин}}$, значення коефіцієнтів постелі $C_{\text{нос}}$, жорсткість шурупів $C_{ш}$ при їх поперечному віджиманні та зміни цих параметрів під час експлуатації. Цю інформацію необхідно отримати експериментально.



Литература:

1. Кравченко Н.Д. Новые конструкции железнодорожного пути для метрополитенов: учеб. пособие для техн. спец. вузов / Н.Д. Кравченко. – М. : Транспорт, 1994. – 143 с.
2. Даніленко Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 : Затв. наказом Укрзалізниці від 13.12.2004 р. №960-ЦЗ / М-во транспорту та зв'язку України. Держадміністрація залізничного транспорту України. Укрзалізниця ; Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К., 2006. – 168 с.
3. Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь / А.Я. Коган // Труды ЦИИТ МПС. – М.: Транспорт, 1969. – 206 с.
4. Поперечные и горизонтальные силы, действующие на путь в прямых участках: под ред. А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1979. – № 619. – 88 с.
5. Даренський О.М. Визначення приведеної вертикальної жорсткості рейкової нитки при використанні розрахункової схеми рейки як балки на пружних опорах з випадковими характеристиками / О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2010. – № 115. – С. 151–162.
6. Даренський О.М. Експериментальне визначення параметрів жорсткості проміжних скріплень типу ДО в умовах промислового транспорту / О.М. Даренський // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2013. – № 138. – С. 226–230.
7. Даренський О.М. Просторова жорсткість скріплення типу КБ / О.М. Даренський // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2007. – № 87. – С. 10.
8. Даренський О.М. Просторова жорсткість проміжного скріплення типу КПП-5 / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг, І.Л. Копилов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2014. – № 144. – С. 113–118.

Науковий керівник: д. т. н., проф. Даренський О.М.

Стаття відправлена: 27.10.2015 р.

© Малішевська А.С., Фаст Д.А.

ЦИТ: m215-250

УДК 621.336:574

Мусаткина Б. В., Маркелова К.С., Игнатов О.В.
РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ЭКРАНИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА МОНОРЕЛЬСОВОГО
ТРАНСПОРТА

*Омский государственный университет путей сообщения,
 Омск, проспект Маркса 35, 644046*

Musatkina B.V., Markelova X. S., Ignatov O.V.
CALCULATING THE EFFECTIVE ELECTROMAGNETIC SHIELDING
CURRENT COLLECTION MONORAIL TRANSPORT DEVICES

*Omsk State Transport University,
 Omsk, Marks avenue 35, 644046*

Аннотация. В работе рассматривается снижение электромагнитных полей и излучений с помощью защитного экрана, встроенного в конструкцию