УДК 004.89 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.159.2016.67070

АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ ЖОРСТКОСТЕЙ ПРОМІЖНИХ СКРІПЛЕНЬ ТИПІВ Д-2, Д-4, КППД-2 ТА СКД-65

Інж. Ю.Л. Тулей

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СКРЕПЛЕНИЙ ТИПОВ Д-2, Д-4, КППД-2 И СКД-65

Инж. Ю.Л. Тулей

ANALYSIS OF FORMING OF INFLEXIBILITIES OF INTERMEDIATE CLAMPING OF THE TYPES D-2, D-4, KPPD-2-2 AND SKD-65-65

Ing. J.L. Tuley

У статті розглянута робота скріплень типів Д-2, Д-4, КППД-2 та СКД-65Д в умовах кривих ділянок колії з радіусами менш ніж 350 м, у яких унаслідок виникнення значних бічних сил умови експлуатації значно складніші.

Ці скріплення є найбільш перспективними для укладання в кривих ділянках колії, у яких застосування безстикової колії, як правило, неможливо внаслідок в першу чергу неможливості регулювання ширини колії, тому застосування ланкової колії із зазначеними типами скріплень буде перспективним протягом значного часу.

Ключові слова: *вертикальна жорсткість скріплень, горизонтальна жорсткість скріплень, кручення рейки, скріплення типу Д-2, Д-4, КППД-2 та СКД-65Д.*

В статье рассмотрена работа скреплений типов Д-2, Д-4, КППД-2 и СКД-65Д в условиях кривых участков пути с радиусами менее чем 350 м, в которых вследствие возникновения значительных боковых сил условия эксплуатации значительно более сложные.

Эти скрепления являются наиболее перспективными для укладки в кривых участках пути, в которых применение бесстыкового пути, как правило, невозможно вследствие в первую очередь невозможности регулирования ширины колеи, поэтому применение звеньевого пути с данным типом скреплений будет перспективным в течение значительного времени.

Ключевые слова: *вертикальная жесткость скреплений, горизонтальная жесткость скреплений, кручение рельса, скрепления типов Д-2, Д-4, КППД-2 и СКД-65Д.*

These fastening are most perspective for the conclusion in the crooked areas of track, in which application of bezsticovoi track, as a rule, it is impossible in investigation above all things to impossibility of adjusting of width of track, therefore application of lancovoi track with the noted types of fastening will be perspective during considerable time.

The mathematical model of spatial inflexibilities of the separate fastening for wooden railroad ties which it is possible to apply in the mathematical model of the spatial dynamic system a «crew» during conducting of numeral researches of forces of co-operation of track and rolling stock at the crooked small radiuses was developed.

At determination of vertical inflexibility of separate knots of fastening vertical deformations in fastening under action of vertical forces, and also condition of balance of powers under action of

the external loading were considered. A calculation chart for determination of vertical inflexibility of the system is resulted "subrail gasket - terminal"

Horizontal transversal inflexibility of knots of fastening, as well as vertical, can be certain taking into account successive connection of inflexibilities of the first and second systems.

Keywords: *vertical inflexibility of fastening, horizontal inflexibility of fastening, twisting of rail of fastening to the type D-2, D-4, CPPD-2-2 and SCD-65D-65Д.*

Вступ. Із загальної протяжності головних колій магістральних залізниць України, яка складає понад 29 тис. км, 74 % в середньому – це безстикова колія на залізобетонних шпалах. Ця конструкція є прогресивною, але не у всіх умовах експлуатації її можна застосовувати. Це стосується насамперед кривих ділянок колії з радіусами менш ніж 350 м, у яких унаслідок виникнення значних бічних сил умови експлуатації значно складніші. Практично єдиною конструкцією проміжних скріплень у таких кривих є скріплення типу ДО, яке має низку суттєвих недоліків, насамперед низький рівень опору бічним (горизонтальним поперечним) та повздовжнім силам.

Проте діючі нормативні документи, наприклад [1], передбачають можливість застосування роздільних скріплень типів Д-2, Д-4, КППД-2 та СКБ-65Д, які не мають зазначених недоліків.

Але більш широке застосування цих типів скріплень неможливе без визначення раціональних сфер їх укладання. Таке завдання є комплексним та повинно базуватись на теоретичних та експериментальних дослідженнях, у тому числі числових дослідженнях взаємодії колії та рухомого складу.

Аналіз досліджень та публікацій. Основною розрахунковою при числових дослідженнях взаємодії колії та рухомого складу є схема, за якої колія розглядається як балка, що спирається на суцільну пружну основу. Така схема застосована в працях В.І. Ангелейка [2], Е.І. Даніленка [10], В.В. Рибкіна [11], В.А. Лазаряна [5] та М.А. Фрішмана [4], М.Ф. Веріго [3], С.П. Першина [9], В.Ф. Яковлєва [8], О.Я. Когана [6, 7], а також питання взаємодії колії і рухомого складу розглядаються у працях закордонних авторів [12-14].

Постановка проблеми у загальному вигляді. У розглянутих працях застосовуються схеми, у яких взаємодія екіпажа та колії розраховується тільки у вертикальній площині, а дія бічних сил ураховується коефіцієнтами. Для розв’язання задачі визначення сфер застосування зазначених рейкових скріплень такий підхід неможливий.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є розроблення математичних моделей просторових жорсткостей роздільних скріплень для дерев’яних шпал, які можна застосовувати в математичній моделі просторової динамічної системи «екіпаж - колія» при проведенні числових досліджень сил взаємодії колії та рухомого складу в кривих малих радіусів.

Основна частина. Скріплення зазначених типів, призначені для укладання на дерев'яних шпалах, за конструкцією, на відміну від скріплень типу ДО, є роздільними. У цих скріпленнях рейки прикріплюються до підкладки двома жорсткими (Д-2, СКД-65Д) або пружними клемами і клемними болтами – в скріпленні Д-4 клеми пружні пластинчаті, у скріпленні КППД-2 – пружні пруткові (рис. 1). При жорстких клемах під гайки клемних болтів ставляться двовиткові пружні шайби.

У роздільних скріпленнях підкладки прикріплюються до дерев’яної шпали чотирма (Д-2, Д-4, КППД-2) або шістьма шурупами (СКБ-65Д). Під підошву рейки на прокладку укладається прокладка, яка аналогічна прокладкам скріплення КБ.

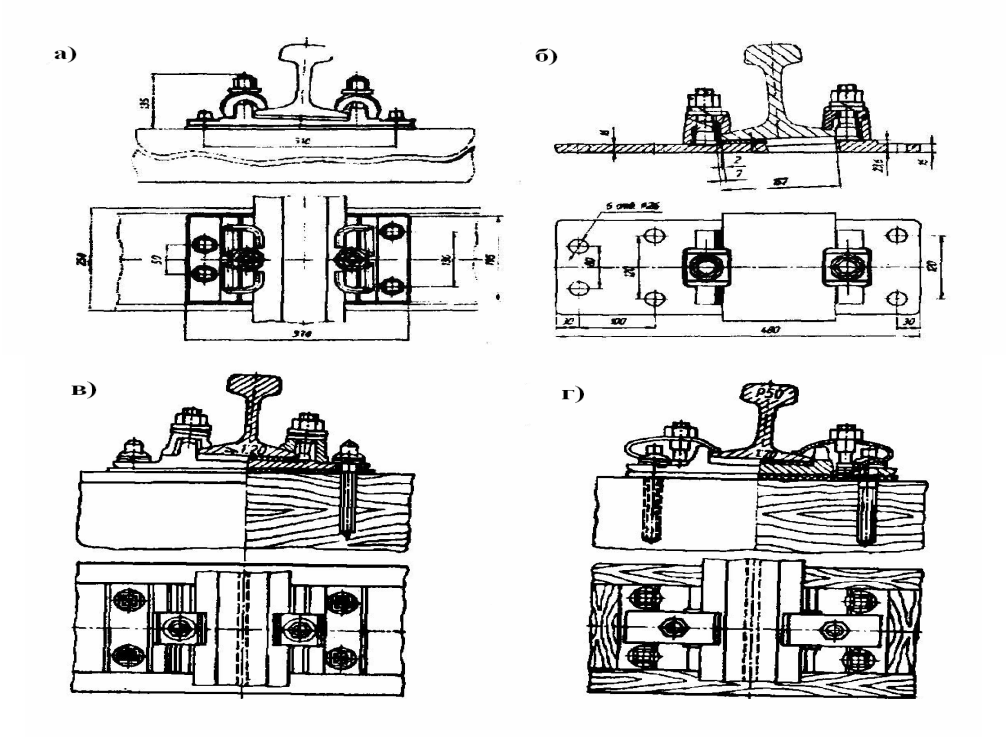

Рис. 1. Скріплення: а – типу КППД-2; б – типу СКД-65Д;
в – роздільне типу Д-2; г – роздільне типу Д-4

Вертикальна жорсткість роздільних вузлів скріплень

Вертикальні деформації в скріпленнях під дією вертикальних сил, *м*, можна подати як

$$z_{ck} = z_1 + z_2 \ ,$$

де z_1 – вертикальні деформації за рахунок системи «підрейкова прокладка – клеми (перша система), *м*;

z_2 – вертикальні деформації за рахунок зім'яття і стиснення деревини шпали (друга система), *м*.

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

$$\frac{R_z}{C_y} = \frac{R_z}{C_{y1}} + \frac{R_z}{C_{y2}}$$

Тоді вертикальна жорсткість вузла скріплення, *кН/м*:

$$C_{zck} = \frac{C_{z1} \cdot C_{z2}}{C_{z1} + C_{z2}} \ , \qquad (1)$$

де C_{z1} і C_{z2} – вертикальні жорсткості першої і другої систем, *кН/м*.

Розглянемо умови рівноваги сил у першій системі при дії сили R_z (рис. 2).

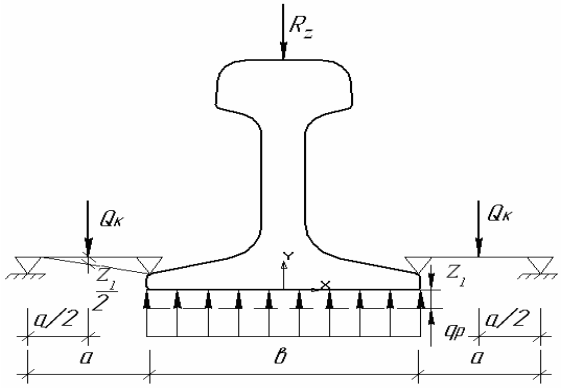

Рис. 2. Розрахункова схема для визначення вертикальної жорсткості системи «підрейкова прокладка – клема»

$$R_y - q_p \cdot в + 2 \cdot \frac{Q_к}{2} = 0 \ , \qquad (2)$$

де q_p – розподілена реакція підрейкової прокладки на стиснення, *кН/м*;

$в$ – ширина підошви рейки, *м*;

$Q_к$ – сила натиснення однієї клеми на підошву рейки, *кН*.

Сила $Q_к$ при дії на вузол скріплення вертикальної сили R_y буде становити:

$$Q_к = Q_к^{нач} - \Delta Q_к \ ,$$

де $Q_к^{нач}$ – початкова сила клемного натиснення при монтажі вузла скріплення, *кН*;

$\Delta Q_к$ – зміна сили клемного натиснення при вертикальних навантаженнях R_z на вузол скріплення, *кН*.

$$\Delta Q_k = ж_к \cdot \frac{Z_1}{2} \ , \qquad (3)$$

де $ж_к$ – жорсткість пружинної шайби клемного болта або пружної клеми, *кН/м*.

Розподілена реакція підрейкової прокладки при її стисненні клемами і зовнішнім навантаженням становить

$$q_p = q_p^{нач} + q_p^{дин} \ ,$$

де $q_p^{нач}$ – розподілена реакція на початкове клемне натиснення при монтажі вузла скріплення, *кН/м;*

$q_p^{дин}$ – розподілена реакція на дію динамічної сили, *кН/м*.

Тоді

$$\left.\begin{aligned} q_p^{нач} &= \frac{2Q_к^{нач}}{2в} = \frac{Q_к^{нач}}{в} \\ q_p^{дин} &= \frac{z_1 u_p^{дин}}{в} \end{aligned}\right\} \ , \qquad (4)$$

де $u_p^{дин}$ – динамічна жорсткість підрейкової прокладки при стисненні, *кН/м*.

Підставляючи вирази (3) і (4) у формулу (2), одержимо

$$R_y - в\left(\frac{Q_к^{нач}}{в} + \frac{z_1 u_p^{дин}}{в}\right) + \left(Q_к^{нач} - \frac{ж_к \cdot z_1}{2}\right) = 0;$$

або після перетворень

$$R_y = z_1 u_p^{дин} + z_1 \frac{ж_к}{2} \ .$$

Переходячи до жорсткості першої системи,

$$C_{z1} = u_p^{дин} + \frac{ж_к}{2} \qquad (5)$$

Вертикальну жорсткість другої системи можна одержати аналогічно до вертикальної жорсткості скріплення Д0:

$$c_{zII} = \omega_n \cdot c_{под} \ , \qquad (6)$$

де ω_n – площа підкладки, *м*^{2};

$c_{под}$ – коефіцієнт постілі підкладки при дерев'яних шпалах, *кН/м*^{3}.

Горизонтальна поперечна жорсткість скріплень

Горизонтальна поперечна жорсткість вузлів скріплень $c_{уск}$, як і вертикальна, може бути визначена з урахуванням послідовного з'єднання жорсткостей першої і другої систем:

$$C_{уск} = \frac{C_{y1} \cdot C_{y2}}{C_{y1} + C_{y2}} \ . \qquad (7)$$

Розглянемо формування жорсткості першої системи. Умови рівноваги сил, діючих у першій системі,

$$R_z = 2F_{тр} + Q_p^Г \ ,$$

де $F_{тр}$ – сила тертя на контакті підошви рейки і клеми, *кН*;

$Q_p^Г$ – пружний опір підрейкової прокладки при зсуві, *кН*.

Розрахункова схема для визначення горизонтальної жорсткості скріплень роздільного типу подана на рис. 3.

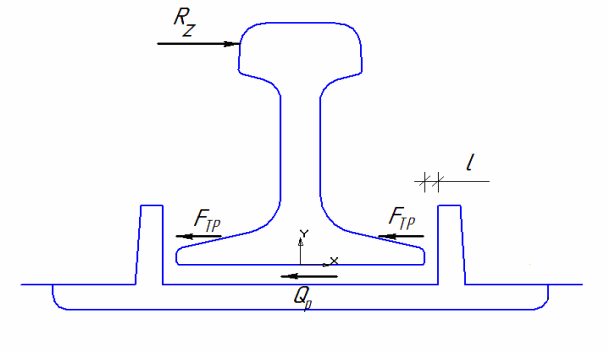

Рис. 3. Розрахункова схема для визначення горизонтальної жорсткості скріплень роздільного типу

Силу тертя $F_{тр}$ можна визначити з виразу

$$F_{тр} = \left(Q_к^{нач} - \frac{1}{2} R_y \frac{ж_к}{u_p^{дин} + \frac{ж_к}{2}} \right) \cdot f_{кл} , \qquad (8)$$

де $\cdot f_{кл}$ – коефіцієнт тертя клеми по підошві рейки.

Решта позначень у формулі (8) колишня.

Горизонтальне поперечне переміщення рейки за рахунок першої системи можливе в межах зазора між бічними гранями підошви рейки і ребордами підкладки. Величина таких зазорів 1мм (для скріплення СКД-65Д – з урахуванням регулювання карток).

Таким чином, для першої системи можна записати:

$$\left.\begin{array}{l} -при\ R_y < \left(Q_к^{нач} - R_z \dfrac{ж_к}{u_p^{дин} + \dfrac{ж_к}{2}} \right) \cdot f_{кл} \\ C_{y1} = \infty;\ y_1 = 0 \\ -при\ R_y = \left(Q_к^{нач} - R_y \dfrac{ж_к}{u_p^{дин} + \dfrac{ж_к}{2}} \right) \cdot f_{кл} \\ C_{y1} = u_p^Г;\ y_1 = 0 \div 1\,мм \\ -при\ R_y > \left(Q_к^{нач} - R_z \dfrac{ж_к}{u_p^{дин} + \dfrac{ж_к}{2}} \right) \cdot f_{кл} \\ C_{y1} = \infty;\ y_1 = 1\,мм \end{array}\right\} , \qquad (9)$$

де $u_p^Г$ – горизонтальна поперечна жорсткість підрейкової прокладки при її зсуві, *кН/м*.

Оскільки жорсткість гумових прокладок істотно залежить від величини її стиснення вертикальними силами, величина $u_p^Г$ визначена експериментально у вигляді функції від величини її стиснення:

$$u_p^{Гz} = f\ (\Delta h) ,$$

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

Підрейкова підкладка стискається спочатку клемами при монтажі вузла скріплення, а потім додатково навантаженням від рухомого складу:

$$\Delta h = z_{ст} + z_1 .$$

З урахуванням характеру роботи клемних прикріплювачів величину Δh, *м*, можна виразити через діючі зусилля і жорсткості пружних елементів першої системи:

$$\Delta h = \frac{Q_к^{нач}}{u_p^{ст}} + \frac{R_y}{u_p^{дин} + \frac{ЖС_k}{2}} \quad ,$$

де $u_p^{ст}$ – статична жорсткість підрейкової прокладки при стисненні, *кН/м*.

Решта позначень колишня.

Монтажне натягнення клемних болтів залежить від моменту закручування їх гайок. У роботі [12] цю величину запропоновано визначати як

$$Q_к^{нач} = M_{монт}^{к} \cdot K \ ,$$

де $M_{монт}^{к}$ – момент закручування гайок клемних болтів, *Н·м*, (початкове нормативне значення $M_{монт}^{к}$ = 200 *Н·м*);

К – коефіцієнт пропорційності, визначуваний за виразом:

$$K = \frac{2\pi \cdot C}{h + \pi \cdot f\left(d + Д\right)} \ ,$$

де *С* – емпіричний коефіцієнт, $\left(\frac{Н \cdot мм}{Н \cdot м}\right)$;

h – крок різі, *мм*;

f – коефіцієнт тертя;

d – середній діаметр кола тертя в різі, *мм*;

Д – середній діаметр кола тертя торця гайки, *мм*.

Тоді жорсткість першої системи можна визначити так:

$$C_{z1} = u_p^{Г} = f\left(\frac{M_{монт}^{к} \cdot K}{u_p^{ст}} + \frac{R_y}{u_p^{дин} + \frac{ЖС_k}{2}}\right) \quad (10)$$

При відсутності зазорів між пікладкою проміжного скріплення та шурупами умова рівноваги другої системи (підкладка - шурупи) буде мати такий вигляд:

$$R_y = F_{тр} + m \cdot Q_m \ , \quad (11)$$

де $F_{тр}$ – сила тертя підкладки по шпалі;

Q_m – опір одного шурупа поперечного віджиманню;

m – кількість шурупів у вузлі скріплення.

До подолання сили тертя $F_{тр}$ горизонтальних поперечних переміщень у другій системі відбуватись не буде. Тоді умови прояву і формування поперечної жорстокості 2 системи можна подати як

$$\left.\begin{array}{l} \text{- при } R_y < f_{под} R_z \\ \quad C_{yz} = \infty \\ \text{- при } R_y \geq f_{под} R \\ \quad C_{yz} = mC_ш \end{array}\right\} \ , \quad (12)$$

де R_y, R_z – діючі на скріплення горизонтальні і вертикальні сили;

$f_{под}$ – коефіцієнт тертя підкладки по шпалі;

$C_ш$ – жорсткість шурупа при віджиманні, *Н/м*.

Жорсткість скріплень при крученні рейки

Жорсткість скріплень при крученні рейки під дією горизонтальних поперечних сил і дії вертикальних сил з урахуванням послідовного з'єднання жорсткостей першої і другої системи рівна

$$C_\varphi = \frac{C_{\varphi 1} \cdot C_{\varphi 2}}{C_{\varphi 1} + C_{\varphi 2}} \ . \quad (13)$$

Розглянемо дію сумарного крутного моменту $M_{кр}$ на першу систему (рис. 4).

Умова рівноваги зовнішнього крутного моменту $M_{кр}$, моментів сил клемного натиснення і моменту нерівномірно розподіленої реакції підрейкової прокладки щодо центра повороту перерізу рейки (ЦП) можна записати як

$$M_{кр} + Q_{к2} \cdot \frac{в}{2} - (q_2 + q_{ср})\frac{в^2}{16} + (q_{ср} + q_1)\frac{в^2}{16} - Q_{к1}\frac{в}{2} = 0$$

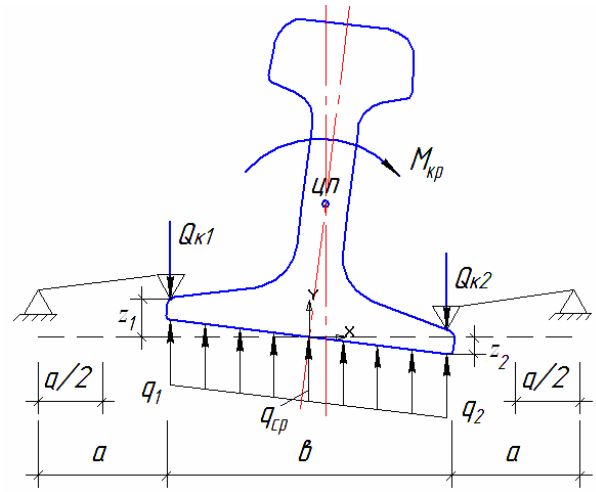

Рис. 4. Розрахункова схема для визначення жорсткості при крученні системи «підрейкова прокладка – клема»

Після перетворень одержимо

$$M_{кр} = (Q_{к1} - Q_{к2})\frac{в}{2} + (q_2 - q_1)\frac{в^2}{16}, \qquad (14)$$

де $Q_{к1}$ і $Q_{к2}$ – сила натиснення клем, *кН*;

q_1 і q_2 – інтенсивності нерівномірно розподіленої реакції підрейкової прокладки при її стисненні клемами і зовнішнім крутним моментом $M_{кр}$, *кН/м*.

Сили натиснення клем на підошви рейки при сумісній дії на вузол скріплення вертикальних сил і крутних моментів будуть рівні:

$$Q_{к1} = Q_к^{нач} - \Delta Q_к + \Delta Q_{кр1};$$

$$Q_{к2} = Q_к^{нач} - \Delta Q_к + \Delta Q_{кр2},$$

де $Q_к^{нач}$ – монтажна сила натиснення клем, *кН*;

$\Delta Q_к$ – зміна сили клемного натиснення при дії вертикальної сили на скріплення, *кН*;

$\Delta Q_{кр1}$, $\Delta Q_{кр2}$ – зміна сил клемного натиснення при крученні рейки, *кН*.

Позначимо зміну прогинань кромок підошви рейки при її крученні через Δz_1 і Δz_2 (рис. 4). Тоді величини $\Delta Q_{кр1}$ і $\Delta Q_{кр2}$ з урахуванням характеру роботи становлять:

$$\Delta Q_{кр1} = \frac{\Delta y_1}{2} ж_к;$$

$$\Delta Q_{кр2} = \frac{-\Delta y_2}{2} ж_к,$$

де $ж_к$ – жорсткість клем, *кН/м*.

Різницю величин $Q_{к1} - Q_{к2}$ у формулі (14) можливо записати як

$$Q_{к1} - Q_{к2} = \frac{ж_к}{2}(\Delta z_1 + \Delta z_2). \qquad (15)$$

Застосовуючи той же підхід для значень q_1 і q_2 отримаємо

$$q_2 - q_1 = u_р^{дин}\left(\frac{\Delta z_1 + \Delta z_2}{в}\right). \qquad (16)$$

Підставимо вирази (15) і (16) у формулу (14)

$$M_{кр} = \frac{в^2}{4} ж_ш \left(\frac{\Delta z_1 + \Delta z_2}{в}\right) + \frac{в^2}{16} u_р^{дин} \frac{(\Delta z_1 + \Delta z_2)}{в}. \qquad (17)$$

Замінюючи в цьому виразі

$$M_{кр} = C_{\varphi 1} \cdot \varphi_1$$

і враховуючи малість кута

$$\varphi_1 = \frac{\Delta z_1 + \Delta z_2}{в}$$

набудемо значення жорсткості першої системи при крученні рейки залежно від характеристик пружних елементів, *кН/рад*:

$$C_{\varphi 1} = \frac{в^2}{4}\left(ж_ш + \frac{u_p^{дин}}{4} \right), \qquad (18)$$

де *в* – ширина підошви рейки, *м*.

Аналогічно, розглядаючи жорсткість другої системи при крученні, можна одержати вираз для скріплень Д-2, Д-4 та КППД-2 (рис. 5), *кН/рад*,

$$C_{\varphi 2} = \frac{C^2}{2} ж_ш + \frac{d^2}{16} \omega_n c_{под}, \qquad (19)$$

де *c* – відстань між осями шурупів, *м*;

d – довжина підкладки скріплення, *м*;

$ж_ш$ – жорсткість шурупа при висмикуванні, *Н/м*;

ω_n – площа пікладки, $м^2$;

$c_{под}$ – коефіцієнт постілі підкладки, $Н/м^3$.

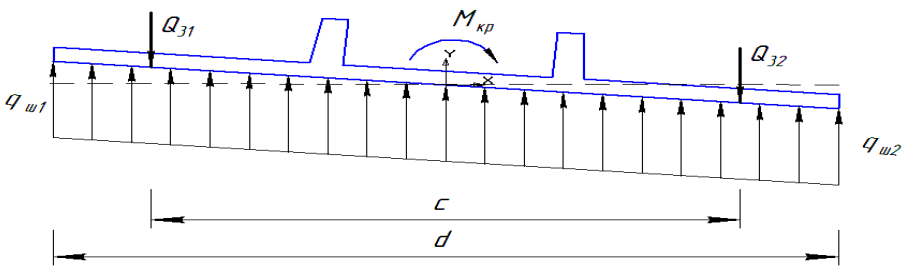

Рис. 5. Розрахункова схема для визначення жорсткості при крученні системи «нашпальна прокладка – шурупи»

Для скріплення СКД-65Д жорсткість другої системи буде визначатись рівнянням

$$C_{\varphi 2} = \left[\frac{C^2}{2} + \frac{(c+g)^2}{8} \right] \cdot ж_ш + \frac{d^2}{16} \omega_n \cdot c_{под},$$

де g – відстань між осями основних та додаткових шурупів, *м*.

Решта позначень колишня.

Висновки. Вивчення формування просторової жорсткості вузлів скріплень Д-2, Д-4, КППД-2 та СКД-65Д дало змогу визначити необхідний перелік характеристик пружних елементів цих скріплень і перелік залежностей їх зміни в процесі експлуатації.

До таких характеристик і залежності слід віднести такі:

- статична і динамічна жорсткість підрейкових прокладок і їх зміни в процесі експлуатації;
- динамічна жорсткість підрейкових прокладок при зсуві в поперечному напрямку і залежності цієї жорсткості від величини стиснення прокладок вертикальними силами;
- жорсткість клем (скріплення Д-4 та КППД-2) або жорсткість пружних шайб (Д-2 та СКД-65Д) при стисненні;
- коефіцієнт постілі підкладки;
- жорсткість шурупів при віджиманні та при висмикуванні.

Ці характеристики і залежності повинні бути визначені експериментально.

Список використаних джерел

1. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП 0269) [Текст] / Е.І. Даніленко, А.М. Орловський, М.Б. Курган, В.О. Яковлєв та [ін.]. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.: іл.

2. Ангелейко, В.И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях [Текст]: монография / В.И. Ангелейко. – Харьков: ХИИТ, 1958. – 38 с.

3. Вериго, М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго // Труды ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – № 97. – С. 25-288.

4. Фришман, М.А. Экспериментальны определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути [Текст] / М.А. Фришман, Л.Я. Воробейчик, Р.С. Липовской // Вестник ЦНИИ МПС. – 1970. – № 8. – С. 31-35.

5. Лазарян, В.А. Изгибные колебания кузова полувагона в вертикальной и горизонтальной плоскостях [Текст] / В.А. Лазарян, В.Ф. Ушаков // Труды ДИИТ. – 1967. – № 68. – С. 32-38.

6. Коган, А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь [Текст] / А.Я. Коган // Труды ЦИИТ МПС. – М.: Транспорт, 1969. – 206 с.

7. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку [Текст] / под. ред. А.Я. Когана // Труды ВНИИЖТ. – 1973. – № 502. – 80 с.

8. 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.

9. Першин, С.П. Вертикальная жесткость пути и его надежность [Текст] / С.П. Першин // Путь и путевое хозяйство. – 1996. – №8. – С. 8-10.

10. Даніленко, Е.І. Сучасні рейкові пружні скріплення і особливості вимог до вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах [Текст] / Е.І. Даніленко, М.Д. Костюк, О.М. Жученко // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 6. – С. 3-12.

11. Теоретичні дослідження впливу пружності проміжних рейкових скріплень на деформативну роботу колії [Текст] / В.В. Рибкін, М.Д. Костюк, Н.П. Настечик, М.П. Сисин // Тези LXVI Міжнар. наук.-практ. конф. “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”. – Дніпропетровськ, 2006. – № 1. – С. 188.

12. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout [Electronic resource] / J. Xu, P. Wang, L. Wang, R. Chen // Advances in Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 8, №1. – P. 1-14. – Available at: http://ade.sagepub.com/ content/8/1/ 1687814015623696.full.pdf+html. – Title from the screen. – Accessed: 14.03.2016.

13. Kim, S. J. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model [Electronic resource] / S. J. Kim, B.-G. Eom, H. S. Lee // International Journal of Railway. – 2012. – Vol. 5, № 4. – P. 156-162. – Available at: http://www.ijr.or. kr/On_line/admin/files/(156- 162)-12-024.pdf. – Title from the screen. – Accessed: 15.03.2016.

14. Herian, J. Modelling of structure and properties of pearlitic steel and abrasive wear of the turnout frog in the cyclic loading conditions [Electronic resource] / J. Herian, K. Aniołek // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2011. – Vol. 49, Iss. 1. – P. 71-81. – Available at: http://www.journalam-me.org/ papers_ vol49_1/4918.pdf. – Title from the screen. – Accessed: 15.03.2016.

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

Тулей Юзеф Леонідович, начальник Департаменту колії Укрзалізниці. Тел.: 044-465-03-50.

Tuley Yusef Leonidovih, head of the Department Ukrzaliznytsia. Tel. 044-465-03-50.

Прийнята 25.02.2016 р.