

УДК 004.89

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.144.2014.80410>

**ПРОСТОРОВА ЖОРСТКІСТЬ ПРОМІЖНОГО СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КПП-5**

Д-р техн. наук О.М. Даренський, канд. техн. наук В.Г. Вітольберг, І.Л. Копилов

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЖОСТКОСТЬ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СКРЕПЛЕНИЯ ТИПА КПП-5**

Д-р техн. наук А.Н. Даренский, канд. техн. наук В.Г. Витольберг, И.Л. Копылов

**SPATIAL ZHOSTKOST INTERMEDIATE FASTENINGS TYPE KPP-5**

Doct. of techn. sciences A.N. Darenskiy, cand. of techn. science V.G. Vitolberg, I.L. Kopylov

*Отримано математичні залежності жорсткості вузла скріплення типу КПП-5 при вертикальному і горизонтальному вигинах і крученні рейки під дією бічних сил як функції жорсткості пружних елементів скріплення.*

**Ключові слова:** рейкові скріплення типу КПП-5, просторова жорсткість.

*Получены математические зависимости пространственной жесткости узла скрепления типа КПП-5 при вертикальном и горизонтальном изгибе, а также при кручении рельса под действием боковых сил как функции жесткостей элементов скрепления.*

**Ключевые слова:** рельсовые скрепления типа КПП-5, пространственная жесткость.

*Mathematical dependences of spatial rigidity of unit of a fastening of type of a check KPP-5 are received at a vertical and horizontal bend, and as at torsion of a rail under action of lateral forces as functions rigidity elements of a fastening.*

**Keywords:** rail fastening type of check KPP-5, horizontal bend.

**Вступ.** Проміжні рейкові скріплення типу КПП-5 дозволено до застосування на залізницях України з 2003 року. Нормативні документи [1-4] дозволяють укладання

безстикової колії на ділянках з будь-якою вантажонапруженістю в прямих і кривих з радіусами 350 м і більше. Довжина плітей безстикової колії може досягати довжини блок-діляниць або перегону (наддовгі пліті).

Скріплення КПП-5 вигідно відрізняється від скріплення типу КБ, найпоширенішого на мережі залізниць, у першу чергу малою кількістю елементів. У скріпленні КПП-5 п'ять елементів (враховуючи анкери складовою частиною шпали С-3-0), у скріпленні КБ – 21 елемент.

Відсутність у скріпленні КПП-5 нарізних сполучень повинне істотно підвищити стабільність притиснення рейки до шпал, опірність силам уgonу.

Виключення з переліку колійних робіт робіт із закріплення клемних і закладних болтів істотно (до 10 %) скоротить загальні затрати праці на поточне утримання та ремонти колії.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Ні в діючих нормативних документах [1-4], а також в опублікованих за останні роки результатах досліджень (за винятком [5]) не дані характеристики жорсткості вузла скріплення типу КПП-5. Тим часом, просторова жорсткість проміжних скріплень є складовою загальної просторової жорсткості підрейкової основи та впливає на роботу всієї конструкції колії під дією динамічного й вібраційного поїзного навантаження.

У роботі [5] розглянута вертикальна жорсткість вузла скріплення КПП-5 і дано числові характеристики жорсткостей пружних елементів цього скріплення. Однак як підрейкова прийнята гумова прокладка, що не відповідає типовій конструкції цього скріплення [4].

**Постановка проблеми.** У статті зроблена спроба математичного моделювання пружної роботи скріплення КПП-5 під дією вертикальних і горизонтальних поперечних (бічних) сил.

**Основна частина.** При дії на рейку вертикальних і бічних сил відбувається її вигин у вертикальній і горизонтальній площині та її кручення. Складовими реакцій рейкових опор є вертикальні і горизонтальні реакції рейкових скріплень і реактивні крутні моменти. Тому розглянемо вертикальну й горизонтальну поперечну жорсткість скріплення типу КПП-5 при вигинах і його жорсткість при крученні рейки.

**Вертикальна жорсткість скріплення КПП-5.** При монтажі вузла скріплення КПП-5 відбувається початкова вертикальна деформація пружинної клеми  $y_{кл}^{поч}$  (рис. 1), яка може досягати з урахуванням конструктивних розмірів клям, анкерів, прокладок, ізолюючого вкладиша та підшви рейки 6 мм. При цьому кожна кляма притискає підшву рейки до шпали із силою  $Q_{кл}^{поч}$

$$Q_{кл}^{поч} = y_{кл}^{поч} Ж_{кл},$$

де  $Ж_{кл}$  – жорсткість клеми при вертикальних деформаціях, кН/мм.

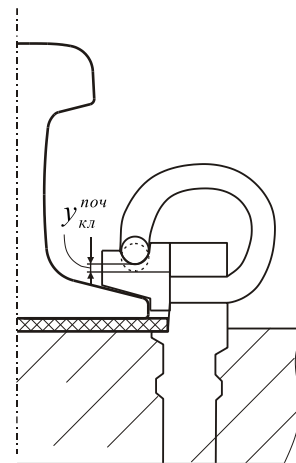


Рис. 1. Початкова вертикальна деформація пружинної клеми

Під дією цих сил підрейкова прокладка стискується та чинить пружний опір цьому стиску

$$Q_{np} = U_{np}^{cm} y,$$

де  $U_{np}^{cm}$  – жорсткість прокладки при статичному стиску, кН/мм;

$y$  – деформація прокладки при стиску, мм.

Силу  $Q_{np}$  можна подати (рис. 2) у вигляді розподіленого пружного опору стиску з інтенсивністю  $q_{np}$ , кН/мм:

$$q_{np}^m = \frac{Q_{np}^m}{b}, \quad q_{np}^{дин} = \frac{Q_{np}^{дин}}{b},$$

де  $b$  – ширина підшви рейки, мм;

$Q_{np}^M$  – сила, з якою дві клеми стискають прокладку при монтажі вузла скріплення;

$Q_{np}^{\partial ин}$  – сила стиску прокладки при динамічному навантаженні.

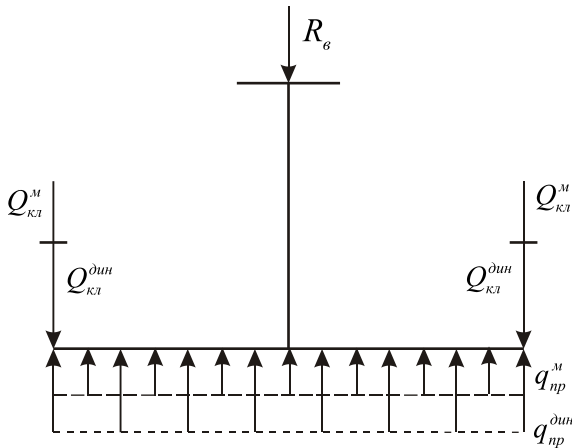


Рис. 2. Розрахункова схема при дії вертикальної сили

Рівновага у вузлі скріплення буде тоді, коли остаточні монтажні сили клемного притиснення будуть дорівнювати пружному опору прокладки стиску:

$$2Q_{кл}^M = Q_{np}^M = q_{np}^M b. \quad (1)$$

Остаточна монтажна сила клемного притиснення  $Q_{кл}^M$  зменшується в порівнянні з величиною  $Q_{кл}^{пoch}$  у результаті зворотної пружної деформації клем за рахунок стиску підрейкової прокладки на величину  $y_{np}^M$ :

$$R_г = \Delta y U_{np}^{\partial ин} + y_{np}^M U_{np}^{cm} - 2(y_{кл}^{пoch} - y_{np}^M) \mathcal{K}_{кл} + 2\Delta y \mathcal{K}_{кл}.$$

Заміняючи в цій формулі  $2(y_{кл}^{пoch} - y_{np}^M) \mathcal{K}_{кл}$  на  $y_{np}^M U_{np}^{cm}$  з виразу (2), одержимо

$$R = \Delta y (U_{np}^{\partial ин} + 2\mathcal{K}_{кл}).$$

$$Q_{кл}^M = (y_{кл}^{пoch} - y_{np}^M) \cdot \mathcal{K}_{кл}.$$

Опір прокладки стиску можна виразити через жорсткість прокладки при статичному стиску:

$$Q_{np}^M = q_{np}^M \cdot b = y_{np}^M \cdot U_{np}^{cm}.$$

Тоді вираз (1) буде мати вигляд

$$2(y_{кл}^{пoch} - y_{np}^M) \cdot \mathcal{K}_{кл} = y_{np}^M \cdot U_{np}^{cm}. \quad (2)$$

При дії на вузол скріплення динамічної вертикальної сили  $R_г$  умову рівноваги сил (рис. 2) можна записати як

$$R_г = Q_{np}^{\partial ин} - 2Q_{кл}^{\partial ин}. \quad (3)$$

Опір прокладки  $Q_{np}^{\partial ин}$  при дії сили  $R_г$  збільшується при її додатковому динамічному стиску на величину  $\Delta y$ :

$$Q_{np}^{\partial ин} = \Delta y \cdot U_{np}^{\partial ин} + y_{np}^M \cdot U_{np}^{cm}, \quad (4)$$

де  $U_{np}^{\partial ин}$  – жорсткість підрейкової прокладки при динамічному стиску, кН/мм.

Сила клемного притиснення при дії  $R_г$  зменшується за рахунок зворотної пружної деформації клем на величину  $\Delta y$

$$Q_{кл}^{\partial ин} = (y_{кл}^{пoch} - y_{np}^M) \cdot \mathcal{K}_{кл} - \Delta y \cdot \mathcal{K}_{кл}. \quad (5)$$

Тоді формулу (3) можна подати у вигляді

Або переходячи до вертикальної жорсткості вузла скріплення  $C_y = \frac{R_г}{\Delta y}$ , остаточно одержимо

$$C_y = U_{np}^{\partial ин} + 2\mathcal{K}_{кл}. \quad (6)$$

**Горизонтальна поперечна жорсткість скріплення КПП-5**

Горизонтальна поперечна жорсткість скріплення  $C_z$ , кН/мм, під дією бічної сили  $R_z$  визначається як

$$C_z = \frac{R_z}{\Delta z}, \quad (7)$$

де  $\Delta z$  – пружне бічне переміщення підшви рейки, мм.

Умова рівноваги сил у вузлі скріплення при дії бічної сили  $R_z$  (рис. 3)

$$R_z = 2F_{mp}^{кл} + F_{mp}^{np} + Q_z^{БК}, \quad (8)$$

де  $F_{mp}^{кл}$  – сила тертя вкладиша по верхній грані підшви рейки, кН;

$F_{mp}^{np}$  – сила тертя підшви рейки по прокладці, кН;

$Q_z^{БК}$  – сила опору бічному переміщенню підшви рейки частини ізолюючого вкладиша між підшвою й анкером, кН.

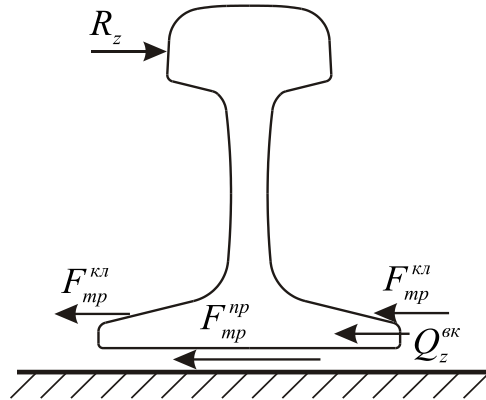


Рис. 3. Умова рівноваги сил у вузлі скріплення при дії бічної сили

У формулі (8) пружною буде тільки сила

$Q_z^{БК}$

$$Q_z^{БК} = \Delta z \cdot U_z^{БК},$$

де  $U_z^{БК}$  – жорсткість частини вкладиша при бічних переміщеннях підшви, кН/мм.

Сили тертя  $F_{mp}^{кл}$  і  $F_{mp}^{np}$  можна подати з урахуванням формул (2), (4), (5) як:

$$F_{mp}^{кл} = f_m Q_{кл}^{\partial_{ин}} = f_m [(y_{кл}^{noc} - y_{np}^m) \mathcal{K}_{кл} - \Delta y \mathcal{K}_{кл}] = f_m \left( \frac{1}{2} y_{np}^m U_{np}^{cm} - \Delta y \mathcal{K}_{кл} \right);$$

$$F_{mp}^{np} = f_n Q_n^{\partial_{ин}} = f_n (y_{np}^m U_{np}^{cm} + \Delta y U_{np}^{\partial_{ин}}),$$

де  $f_m$ ,  $f_n$  – коефіцієнти тертя вкладиша по підшві рейки (поліамід-сталь) і підшви по прокладці (сталь-поліуретан).

Інші позначення залишилися без змін.

Тоді формула (8) буде мати вигляд

$$R_z = f_m y_{np}^m U_{np}^{cm} - 2f_m \Delta y \mathcal{K}_{кл} + f_n y_{np}^m U_{np}^{cm} + f_n U_{np}^{\partial_{ин}} + \Delta z U_z^{БК}.$$

Після перетворень

$$R_z = y_{np}^m U_{np}^{cm} (f_m + f_n) + \Delta y (f_n U_{np}^{\partial_{ин}} - 2f_m \mathcal{K}_{кл}) + \Delta z U_z^{БК}.$$

Переходячи до горизонтальної поперечної жорсткості вузла скріплення (7), одержимо

$$C_z = \frac{y_{np}^m}{\Delta z} U_{np}^{cm} (f_m + f_n) + \frac{\Delta y}{\Delta z} (f_n U_{np}^{\partial_{ин}} - 2f_m \mathcal{K}_{кл}) + U_z^{БК}. \quad (9)$$

Оскільки ізолюючі вкладиші виготовляються із достатньо твердого матеріалу (поліамід)  $U_z^{kp} \gg U_{np}^{din} > U_{np}^{st}$ , бічні переміщення підшви рейки набагато менше вертикальних  $\Delta z \ll \Delta y$ . Таким чином,

$$\frac{y_{np}^M}{\Delta z} \rightarrow \infty, \quad \frac{\Delta y}{\Delta z} \rightarrow \infty \text{ і можна чекати, що } C_z \rightarrow \infty.$$

**Жорсткість скріплення КПП-5 при крученні.** При дії на вузол скріплення крутного моменту  $M_{кр}$  переріз рейки повернеться на кут  $\Delta\varphi$ , рад, величину якого, з огляду на його малість, можна визначити як (рис. 4)

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{b}, \quad (10)$$

де  $\Delta y_1$  і  $\Delta y_2$  – додаткові переміщення кромки підшви рейки при повороті перерізу, мм;  
 $b$  – ширина підшви рейки, мм.

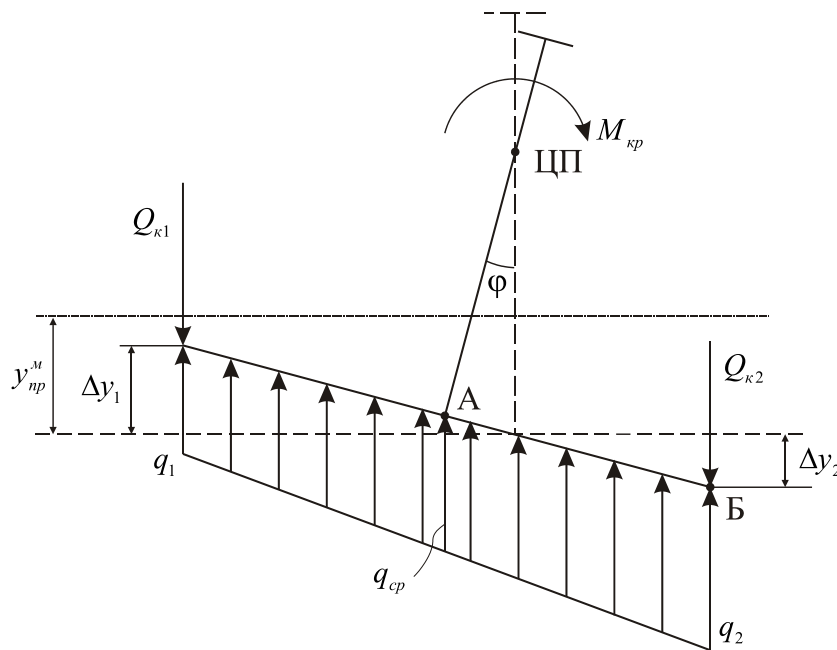


Рис. 4. Розрахункова схема при крученні рейки

Жорсткість вузла скріплення при крученні, кН/рад

$$C_{\varphi} = \frac{M_{кр}}{\Delta\varphi}. \quad (11)$$

Умова рівноваги моменту  $M_{кр}$ , моментів реактивних опорів клем  $Q_{\kappa 1}$  і  $Q_{\kappa 2}$ , моментів нерівномірно розподіленого реактивного опору підрейкової прокладки щодо центра повороту перерізу (ЦП) (рис. 4) визначається як

$$M_{кр} + Q_{\kappa 2} \frac{b}{2} - \frac{q_2 - q_{cp}}{2} \frac{b^2}{8} + \frac{q_1 + q_{cp}}{2} \frac{b^2}{8} - Q_{\kappa 1} \frac{b}{2} = 0.$$

Після перетворення одержимо

$$M_{кр} = (Q_{\kappa 1} - Q_{\kappa 2}) \frac{b}{2} + (q_2 - q_1) \frac{b^2}{16}, \quad (12)$$

де  $Q_{\kappa 1}$  і  $Q_{\kappa 2}$  – сили клемних натискань, кН, при повороті перерізу;

$q_1$  і  $q_2$  – інтенсивності нерівномірного розподілу реакції опору підрейкової прокладки при нерівномірному її стиску, кН/мм.

Сили натискання клем при повороті перерізу можна визначити як

$$\begin{aligned} Q_{\kappa 1} &= Q_{\kappa l}^M + \Delta Q_{\kappa 1} = Q_{\kappa l}^M + \mathcal{K}_{\kappa l} \Delta y_1 \\ Q_{\kappa 2} &= Q_{\kappa l}^M + \Delta Q_{\kappa 2} = Q_{\kappa l}^M + \mathcal{K}_{\kappa l} \Delta y_2 \end{aligned}$$

Тоді різниця  $(Q_{\kappa 1} - Q_{\kappa 2})$  у формулі (12) буде дорівнювати

$$(Q_{\kappa 1} - Q_{\kappa 2}) = \mathcal{K}_{\kappa l} (\Delta y_1 + \Delta y_2).$$

Аналогічно для різниці значень  $(q_1 - q_2)$  з урахуванням викладеного вище можна одержати

$$(q_1 - q_2) = \frac{U_{np}^{дин}}{b} (\Delta y_1 - \Delta y_2).$$

Тоді формула (12) буде мати вигляд

$$M_{\kappa p} = \mathcal{K}_{\kappa l} (\Delta y_1 + \Delta y_2) \frac{b}{2} + U_{np}^{дин} \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{b} \frac{b^2}{16}.$$

Підставляючи значення  $\Delta \varphi$  з рівняння (10)

$$M_{\kappa p} = \mathcal{K}_{\kappa l} \Delta \varphi \frac{b^2}{2} + U_{np}^{дин} \Delta \varphi \frac{b^2}{16}.$$

Переходячи до жорсткості скріплення при крученні (11), одержимо

$$C_{\varphi} = \mathcal{K}_{\kappa l} \frac{b^2}{2} + U_{np}^{дин} \frac{b^2}{16}.$$

**Висновки з дослідження.** Таким чином, отримані рівняння (6), (9), (13), які дають змогу подати просторові жорсткості вузла скріплення КПП-5 як функції величини жорсткостей пружних елементів цього скріплення.

#### *Список використаних джерел*

1. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст] / Е.І. Даниленко, В.О. Яковлев, А.М. Орловський, [та ін.]. – К.: Транспорт України, 2006. – 336 с.
2. Даниленко, Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість (ЦП-0117) [Текст] / Е.І. Даниленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
3. Інструкція з укладання та утримання рейкової колії з рейками типу Р65, UIC 60 і пружним проміжним скріпленням типу КПП-5 та високоміцними ізолюючими стиками (ЦП-0104) [Текст]. – К., 2003. – 52 с.
4. Говоруха, В.В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений [Текст]: монография / В.В. Говоруха. – Днепропетровск: Изд. «Лира ЛТД», 2005. – 388 с.

---

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук., професор кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.:(057) 723-12-34.  
 Вітольберг Володимир Геннадійович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 730-10-60.  
 Копилов Ігор Леонідович, магістрант ІППК. Тел.: (099) 425-10-68.

Darensky Oleksandr Mykolajovych, Ph.D., Professor of the Department "road and track facilities" Ukraine State of Railway Transport. Tel.:(057) 723-12-34.  
 Vitolberg Vladimir Gennadievich, cand. of techn. science Department "Road and track facilities" Ukraine State of Railway Transport Tel.:(057) 730-10-60  
 Kopylov Igor Leonidovich Master Training Institute. Tel: (099) 425-10-68.