

УДК 625.143

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.155.2015.92104>

**АНАЛІЗ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПРОСТОРОВОЇ ЖОРСТКОСТІ СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КППТ-7.**

Д-р техн. наук О.М. Даренський, зав. навч. лабор. Е.А. Беліков

**АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ СКРЕПЛЕНИЯ ТИПА КППТ-7(ТРЕП).**

Д-р техн. наук А.Н. Даренский, зав. учебн. лабор. Э.А. Беликов

**ANALYSIS OF VERTICAL SPATIAL RIGIDITY OF THE BONDING TYPE КППТ-7(ТРЕП).**

**DSc A.N. Darenskiy , Head of the Learning Lab E.A. Byelikov**

*У статті розглянуто основні навантаження діючі на скріплення типу КППТ-7 (ТРЕП) у вертикальній площини. Складені математичні схеми та цифрові залежності реакцій елементів скріплення. Базові математичні викладки є продовженням просторової моделі взаємодії сил діючих на верхню будову колії розробленої професором О.М.Даренським для умов залізниць незагального користування. Передбачена можливість розраховувати вертикальну просторову жорсткість.*

**Ключові слова:** просторова жорсткість опори, вертикальна жорсткість, вертикальне навантаження, пружна деформація, жорсткість проміжного скріплення, жорсткість системи шпала – баласт, модуль пружності підрейкової основи, жорсткість пружинної клеми, жорсткість прокладки, деформація стиску прокладки, пружний опір прокладки.

*В статье рассмотрены основные нагрузки, действующие на скрепление типа КППТ-7 (ТРЕП) в вертикальной плоскости. Составлены математические схемы и цифровые зависимости реакций элементов скрепления. Базовые математические выкладки является научным продолжением пространственной модели взаимодействия сил действующих на верхнее строение пути разработанной профессором А.М.Даренским для условий железных дорог общего пользования. Предусмотрена возможность рассчитывать вертикальную пространственную жесткость.*

**Ключевые слова:** пространственная жесткость опоры, вертикальная жесткость, вертикальные нагрузки, упругие деформации, жесткости промежуточного скрепления, жесткости системы шпала - балласт, модули упругости подрельсового основания, жесткость пружинной клеммы, жесткость прокладки, деформация сжатия прокладки, упругое сопротивление прокладки.

*The article describes the main loads acting on the bond type КППТ-7 (TRAP) in the vertical plane. Composed of mathematical schemes and digital dependence of the reactions of the fastening elements. Basic mathematics is a scientific continuation of the spatial model of interaction of forces acting on the superstructure developed by Dr. A. M. Darensky conditions for Railways uncommon. Provides the ability to calculate the vertical spatial rigidity.*

**Keywords:** *spatial support stiffness, vertical stiffness, vertical load, the elastic deformation, the hardness of the intermediate bonding, system rigidity sleeper - ballast, moduli of elasticity of the rail base, the rigidity of the spring terminals, the rigidity of the strip, the deformation of gasket compression, elastic resistance strip.*

**Вступ.** Промислові залізниці мають ряд істотних особливостей: великі осьові навантаження (до 500-600 кН); в наслідок цього експлуатація та утримання колії промислових залізниць значно відрізняються від магістральних колій загального користування. З аналізу елементів і конструкцій верхньої будови колії, слід зробити висновок, що найбільш проблемним є вузли прикріплення рейок до залізобетонних шпал. На цей час практично єдиним типом проміжних скріплень в таких умовах є скріплення КБ. Цей тип скріплення має суттєві недоліки перш за все наявність чотирьох різьбових сполучень в кожному вузлі шпали, значну металоємкість, неможливість зміни ширини колії в кривих та колійних відводах ширини колії при її нормативній зміні.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Аналіз даних про дослідну експлуатацію перспективних проміжних скріплень для залізобетонних шпал в умовах магістральних залізниць показав, що для умов промислового транспорту перспективним є проміжне скріплення типів КППТ-7(ТРЕП) та КППТ-17(ТРЕП-Ш). Перевагами цих типів скріплень для умов промислових залізниць є наступні: відсутність різьбових сполучень та менша кількість елементів; ці типи скріплень використовуються при однаковій конструкції залізобетонних шпал; скріплення КППТ-7 є без підкладочним, скріплення КППТ-17 є підкладковим та анкерним. Елементи скріплення виготовлені ЗАТ "Трансроуд Груп", м. Київ.

Одним з головних питань, які виникають при визначенні можливих сфер застосування цього скріплення є його вплив

на сили взаємодії колії і рухомого складу. Але чисельний аналіз сил взаємодії не можливий без математичного моделювання роботи скріплення КППТ-7 (ТРЕП) під дією просторових, в першу чергу вертикальних сил.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у вирішення питань взаємодії рухомого складу та колії належить науковим школам які сформували професор Ангелейко В.І. [1], професор Даниленко Э.И. [9], професор В.В. Рибкін [11], академік В.А. Лазарян [4] та професор М.А. Фрішман [3], професора М.Ф. Веріго[2], професора С.П.Першина [8], професора Яковлєва В.Ф.[7], професор Коган А.Я[5,6],

Слід відзначити, що в цих дослідженнях використовувалася загальна розрахункова схема колії у вигляді балки на суцільній пружній основі. Ця схема передбачає постійність пружних дисипативних характеристик підрейкової основи. Однак аналіз, зроблений у роботі [13] показав, що така схема для умов промислового транспорту надмірно ідеалізує колію та її технічний стан.

О.М.Даренський в своїх роботах [10,12,13] розробив моделі та методи досліджень сил взаємодії рухомого складу і колії, а також розрахунків напружено-деформованого стану залізничної колії зі застосуванням просторової розрахункової схеми колії у вигляді балок-рейок, які сприяють на пружно дисипативні опори-шпали з нелінійними характеристиками.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою статті є знаходження математичної залежності щодо розрахунків вертикальної просторової жорсткості скріплення типу КППТ-7 (ТРЕП) та теоретичні дослідження формування

просторової жорсткості рейкових опор при застосуванні проміжних скріплень КППТ-7. Визначення переліку параметрів жорсткості пружних елементів цих скріплень, які необхідно отримати експериментально.

**Основна частина дослідження.** Вертикальна жорсткість скріплень типу КППТ-7 :

$$C_z = \frac{R_{z2} - R_{z1}}{Z_2 - Z_1} \left( \frac{H}{M} \right), \quad (1)$$

де  $R_{z2}, R_{z1}$  – значення вертикальних навантажень на опору, (Н);

$z_2, z_1$  – пружні деформації опори в вертикальному напрямках при навантаженнях відповідно  $R_2$  і  $R_1$  (М), залежать  $z = f(p)$  набувають характеру, близького до лінійного.

Вертикальну жорсткість опори однієї рейкової нитки і з урахуванням характеру її роботи, можна записати:

$$C_z = \frac{C_{zск} \cdot 0,5 C_{zш}}{C_{zск} + C_{zш}} \left( \frac{H}{M} \right), \quad (2)$$

де  $C_{zск}$  – жорсткості проміжного скріплення в вертикальному напрямках;

$C_{zш}$  – жорсткості системи шпала - баласт.

Розглянемо далі роботу скріплення під дією монтажних сил та вертикального навантаження.

При монтажі вузла скріплення КППТ-7 відбувається початкова вертикальна деформація пружинної клеми  $z_{кл}^{нач}$  (рис. 1). При цьому кожна клема притискає підшви рейки до шпали із силою  $Q_{кл}^{нач}$  :

$$Q_{кл}^{нач} = z_{кл}^{нач} \cdot \mathcal{E}_{кл}, \quad (3)$$

де  $\mathcal{E}_{кл}$  – жорсткість пружинної клеми при вертикальних деформаціях, (кН/м).

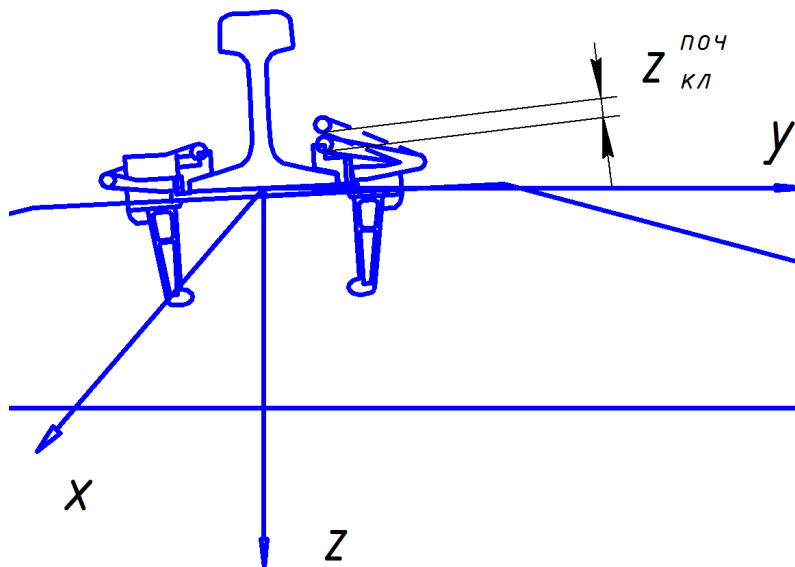


Рис.1. Початкова вертикальна деформація пружинної клеми скріплення КППТ-7

Під дією сил клемного натискання  $2Q_{кл}^{нач}$  підрейкова прокладка стискається та утворює пружний опір цьому стиску силою  $Q_{пр}$  :

$$Q_{пр}^M = u_{пр}^{ст} \cdot z_{пр}^M \quad (4)$$

де  $u_{пр}^{ст}$  – жорсткість прокладки при статичному стиску, (кН/м);

$z_{пр}^M$  – деформація стиску прокладки при монтажі, (м).

Силу  $Q_{пр}^M$  можна представити (рис.2) у вигляді розподіленого пружного опору стиску з інтенсивністю  $q_{пр}^M$  :

$$q_{пр}^M = \frac{Q_{пр}^M}{b}, \quad (5)$$

де  $b$  – ширина підшви рейки, (м).

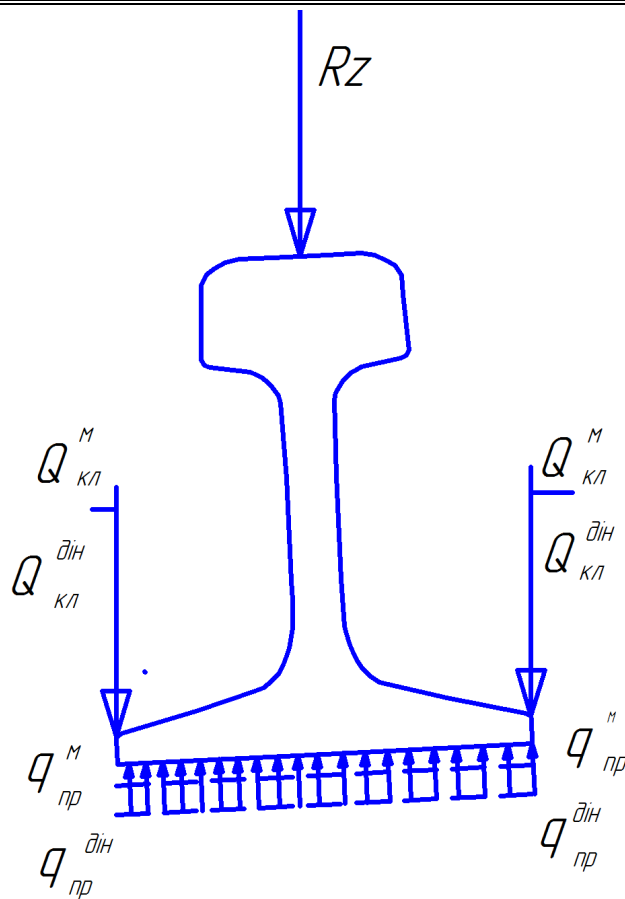


Рис.2 Розрахункова схема для визначення вертикальної жорсткості скріплення КППТ-7.

При стисненні підрейкової прокладки на величину  $z_{np}^M$  відбувається зворотна пружна деформація пружинних клем, у результаті цього зменшується сила клемного натискання. Залишкова монтажна сила клемного натискання буде рівна:

$$Q_{kl}^M = (z_{kl}^{нач} - z_{np}^M) \cdot \mathcal{E}_{kl}, \quad (6)$$

Рівновага сил у вузлі скріплення настане тоді, коли залишкові монтажні сили клемного натискання будуть дорівнюють пружному опору прокладки:

$$2Q_{kl}^M = Q_{kl}^M = q_{kl}^M \cdot v, \quad (7)$$

Підставимо у формулу (6) рівняння (4) і (5):

$$2(z_{kl}^{нач} - z_{np}^M) \cdot \mathcal{E}_{kl} = z_{np}^M \cdot u_{np}^{ст}, \quad (8)$$

При дії на вузол скріплення вертикальної динамічної сили  $R_z$ , умову рівноваги сил (рис. 1) можна записати як:

$$R_z = Q_{np}^{дин} - 2Q_{kl}^{дин}, \quad (9)$$

де  $Q_{np}^{дин}$  – сила опору прокладки стиску динамічним навантаженням і натисканню клемми, (кН);

$Q_{kl}^{дин}$  – сила клемного натискання при дії на вузол скріплення динамічного навантаження  $R_z$ , (кН).

Величина  $Q_{np}^{дин}$  буде дорівнювати:

$$Q_{np}^{дин} = z_{np}^M \cdot u_{np}^{ст} + \Delta z_{np}^{дин} \cdot u_{np}^{дин}, \quad (10)$$

де  $\Delta z_{np}^{дин}$  – додатково динамічний стиск прокладки під дією сили  $R_z$ , (м);

$u_{np}^{дин}$  – жорсткість підрейкової прокладки при динамічному стисненні, (кН/м).

Сила клемного натискання при дії вертикального динамічного навантаження  $R_z$  зменшиться за рахунок зворотної пружної деформації клемми на величину  $\Delta z$ :

$$Q_{кл}^{дин} = (z_{кл}^{нач} - z_{пр}^м) \cdot \mathcal{E}_{кл} - \Delta z \mathcal{E}_{кл}, \quad (11)$$

Тоді формулу (9) можна представити у вигляді:

$$R_z = \Delta z u_{пр}^{дин} + z_{пр}^м \cdot u_{пр}^{ст} - 2(z_{кл}^{нач} - z_{пр}^м) \cdot \mathcal{E}_{кл} + 2\Delta z \mathcal{E}_{кл}, \quad (12)$$

Заміняючи в цій формулі  $2(z_{кл}^{нач} - z_{пр}^м) \cdot \mathcal{E}_{кл}$  на  $z_{пр}^м \cdot u_{пр}^{ст}$  з виразу (8), отримаємо:

$$R_z = \Delta z (u_{пр}^{дин} - 2\mathcal{E}_{кл}), \quad (13)$$

Або переходячи до вертикальної жорсткості вузла скріплення КППТ-7

$$C_{зск} = \frac{R_z}{\Delta z} \text{ остаточно отримаємо:}$$

$$C_{зск} = u_{пр}^{дин} - 2\mathcal{E}_{кл}, \quad (14)$$

Розраховану математичну залежність потрібно підтвердити експериментально.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Таким чином складена математична залежність розрахунку вертикальної жорсткості вузла скріплення КППТ-7(ТРЕП), яка залежить від жорсткості підрейкової прокладки при динамічному стисканні (кН/м) та жорсткості пружинної клеми при вертикальних деформаціях (кН/м).

### *Список використаних джерел*

1. Ангелейко В.И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях [Текст]/ монография / В.И. Ангелейко. // Харьков : ХИИТ, 1958.- 38 с.
2. 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.
3. Фришман М.А. Экспериментальные определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути [Текст] / М.А. Фришман, Л.Я. Воробейчик, Р.С. Липовской // Вестник ЦНИИ МПС. - 1970.- № 8. -С. 31- 35.
4. 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.
5. Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь [Текст] / А.Я. Коган // Труды ЦИИТ МПС. - М.:Транспорт.-1969.-206 с.
6. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку [Текст]/ под ред. А.Я. Когана.// Труды ВНИИЖТ.-1973.-№502.-80 с.
7. 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.- выпуск 326.-С. 66- 85.
8. Першин С.П. Вертикальная жесткость пути и его надежность [Текст] / С.П. Першин // Путь и путевое хозяйство.-1996.-№8.-С.8-10.
9. 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.
10. Даренский А.Н. Результаты лабораторных испытаний скрепления типа КБ [Текст] / А. Н. Даренский // ЦНИИТЭИ МПС. - 1983. № 2145. –С. 11.
11. Рибкін В.В. 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 Міжнародної науково – практичної конференції “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”, Дніпропетровськ – 2006.- № 1. –С. 188.

12. Даренський О.М. Визначення приведеної вертикальної жорсткості рейкової нитки при використанні розрахункової схеми як балки на пружних опорах з випадковими характеристиками [Текст] / О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2010. – № 115. – С. 151-162.

13. Даренський О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту: монографія / О.М. Даренський, // Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.

---

*Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел 19-89,10-59.*

*Беліков Едуард Анатолійович, старший викладач, завідувач навчальною лабораторією секції кафедри колія та колійне господарство Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 10-60, 22-10.*

*Darenskiy Alexander Nikolaevich, dr. of tech. sciences, professor of the department «Road and trak acilities» Ukrainian State Academy of Railway Transport. (19-89,10-59).*

*Byelikov Eduard Anatolyevich, senior lecturer, head of school laboratory section of the Department «Road and trak acilities» Ukrainian State Academy of Railway Transport. (10-60, 22-10).*

Стаття прийнята 20.03.2015 р