

## УДК 625.143.543

М. П. НАСТЕЧИК<sup>1</sup>, Р. В. МАРКУЛЬ<sup>2\*</sup>, В. В. САВИЦЬКИЙ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта nastechik\_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-4178-6092

<sup>2\*</sup>Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта guaranga\_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-7630-8963

<sup>3</sup>Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта savitskiyi@mai.ru, ORCID 0000-0002-9460-3915

## ВПЛИВ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ В ЕЛЕМЕНТАХ СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КПП-5 НА ВЕЛИЧИНУ СИЛИ ПРИТИСКАННЯ РЕЙКИ ДО ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ

**Мета.** Залізничний транспорт є одним із найважливіших ланок економіки України та основою її транспортної системи. Враховуючи те, що більшість вантажних перевезень вугільної та металургійної промисловості виконується залізничним транспортом, ефективне його використання є необхідною умовою стабілізації і розвитку економіки України. Однією з стратегічних робіт, пов'язаних із впровадженням швидкісного руху поїздів в Україні, являється забезпечення надійної роботи вузла проміжного рейкового кріплення під час експлуатації. Саме на колійні роботи з утримання й ремонту скріплень припадає значна доля трудових витрат під час експлуатації колії. Одним із вітчизняних проміжних скріплень, яке після довготривалих експлуатаційних спостережень впровадилось у постійну експлуатацію, є скріплення типу КПП-5. Дане скріплення – це прототип польського рейкового скріплення типу SB-3. Після тривалої експлуатації в скріпленні типу КПП-5 виявлено ряд недоліків, пов'язаних із передчасною відмовою його елементів, що в основному стосується інтенсивного зменшення величини сили притискання рейки до підрейкової основи. Метою дослідження є розробка методики та практичних засобів контролю за станом роботи вузла рейкового скріплення типу КПП-5 під час експлуатації. **Методика.** В основі методики проведення досліджень лежить оцінка впливу різних факторів на величину сили притискання рейки до підрейкової основи у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5 під час експлуатації. **Результати.** За допомогою розробленої методики та практичних засобів контролю було встановлено, що загальне передбачуване зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом  $T = 0 - 800$  млн. т. бр. із врахуванням впливу різних факторів може досягати  $P_T = 4,93$  кН. **Наукова новизна.** Авторами за результатами досліджень вперше був описаний та виражений емпіричною залежністю процес зміни сили притискання рейки до підрейкової основи у скріпленні типу КПП-5 від пропущеного тоннажу  $T$ , млн. т. бр. **Практична значимість.** Розроблена конструкція пристрою для контролю пружних властивостей та числової оцінки зниження сили притискання клеми до рейки в залежності від пропущеного тоннажу.

*Ключові слова:* проміжне скріплення типу КПП-5; пружна клема; жорсткість; сила притискання

### Вступ

Як відомо, опір поздовжньому переміщенню рейки, в основному залежить від стабільного забезпечення сили притискання рейки до підрейкової основи клемою КПП-5 протягом всього міжремонтного терміну, а також від матеріалу і якості підрейкових амортизуючих прокладок. Згідно з полігонними випробуваннями на експериментальному кільці ВНИИЖТа [4] було

доведено, що недоліком всіх безболтових безпідкладочних скріплень є невисока їх надійність на сприйняття бокових сил від рейки, особливо в кривих ділянках колії радіусом менше 600 м. Результатом цього є інтенсивне зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи. Одночасно з цим підрейкова прокладка не достатньо чинить опір поперечному і поздовжньому зміщенню рейки, що призводить до появи угону колії [4, 5, 13]. Збільшу-

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ється бокова жорсткість вузла скріплення, що призводить до пошкодження полімерного вкладиша типу ВІП, відбувається знос анкерів шпал та пошкоджується тіло залізобетонної шпал в місці примикання з шапкою монолітного анкера.

На сьогодні елементи скріплення типу КПП-5 згідно з [11] ремонту не підлягають і замінюються на нові. Отже, існує проблема, що пов'язана з відсутністю методики та засобів контролю за роботою вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а саме контроль за роботою окремих елементів, оскільки вони визначають надійність роботи вузла скріплення в цілому.

З урахуванням вище вказаних недоліків у роботі рейкового скріплення типу КПП-5 кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУ-ЗТу у 2014 році розроблена конструкція колійного пристрою, призначеного для визначення пружних властивостей клеми КПП-5 та її сили притискання до рейки під час експлуатації в колії.

### Мета

Метою статті є розробка методики та практичних засобів контролю за станом роботи вузла рейкового скріплення типу КПП-5 під час експлуатації.

### Методика

З метою підвищення працездатності конструкції проміжних рейкових скріплень типу КПП-5 у 2014 році виконані дослідження роботи пружних клем, що супроводжувались встановленням залежності між робочим ходом клеми при різних приростах навантаження ( $P$ ,  $kH$ ).

Для встановлення залежності між пружним ходом клеми при різних зусиллях притискання рейки під час експерименту було досліджено клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 із найбільш імовірними діаметрами прутка – 16 мм, 16,5 мм та 17 мм, що було отримано під час замірів. Для того, щоб забезпечити точність результатів, пов'язаних із примусовими вертикальними деформаціями клеми під час її монтажу, клема вмонтовувалась в пази нерухомої основи без сформованих елементів у вузлі скріплення, що зображено на рис. 1.

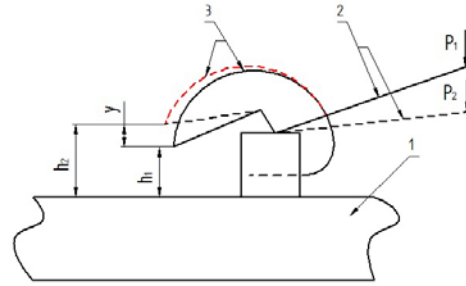


Рис. 1. Експериментальна схема для встановлення залежності між пружним ходом клеми та силою притискання:  
1 – нерухома основа (опора); 2 – пристрій;  
3 – пружна клема

Fig. 1. Experimental chart for establishment of dependence between resilient motion of terminal and by pressing force:  
1 – fixed basis (support); 2 – the device;  
3 – an elastic terminal

Експеримент виконувався при різних приростах навантаження (2,5; 3,75; 4,0; 5,0; 6,25; 7,5; 8,0; 8,75; 10,0) в  $kH$ , що прикладались до пристрою, який призначається для контролю сили притискання клеми до рейки. Після прикладання кожного зусилля до конструкції пристрою (2) одночасно замірялись зазори  $h_1$  та  $h_2$ , мм між крайньою консоллю клеми (3) та тілом нерухомої основи (1). Якісна оцінка зміни пружного ходу клеми ( $y$ , мм), що виникає при різних приростах навантаження, наведена на рис. 2.

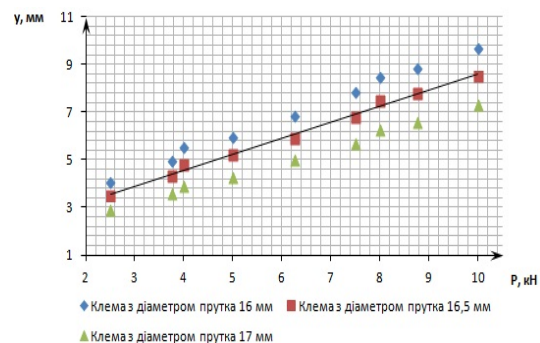


Рис. 2. Апроксимація результатів величини пружного ходу клеми ( $y$ , мм) залежно від приросту навантаження ( $P$ ,  $kH$ )

Fig. 2. Results approximation of the elastic stroke of terminals ( $y$ , mm) depending on load growth ( $P$ ,  $kN$ )

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Результати спостережень залежності пружного ходу клеми ( $y$ , мм) від приросту навантаження, які зображені як пара координат – « $x$ » та « $y$ » (рис. 2) було апроксимовано з метою знаходження математичного рівняння, яке б описувало ті ж самі значення « $x$ » відносно « $y$ ».

Із рис. 2 можна побачити, що характер зміни пружного ходу клеми ( $y$ , мм) залежно від приросту навантаження носить лінійний характер та може описуватись функцією:

$$y = ax + b, \quad (1)$$

де « $a$ » та « $b$ » – постійні параметри.

Параметри апроксимуючої функції (1) за методом найменших квадратів [7] можна описати такою системою рівнянь:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i y_i; \\ a \sum_{i=1}^n x_i + nb = \sum_{i=1}^n y_i, \end{cases} \quad (2)$$

де  $n$  – кількість вимірних точок;  $x_i$  та  $y_i$  – вимірні координати  $i$ -ої точки.

Розв'язавши систему рівнянь (2), отримаємо значення параметрів « $a$ » та « $b$ ». Таким чином, рівняння прямої, яка апроксимує отримані експериментальні дані, є:

$$y = 0,672x + 1,8706. \quad (3)$$

За результатами апроксимування на рис. 2 можна побачити, що залежність між навантаженням та пружним ходом носика клеми – лінійна. Отже підтверджується, що згідно з [3, 8, 10, 12] пружна клема працює в пружній стадії.

Для залізниць в країнах СНД пружні клеми повинні забезпечувати нормативне монтажне притискання клеми до підшви рейки в діапазоні 8–12,5 кН згідно з [8]. В свою чергу, нормативна сила притискання клеми до підшви рейки в основному залежить від її жорсткісної характеристики, що може бути визначена з виразу:

$$J_K = \frac{P_K}{y}, \quad (4)$$

де  $P_K$  – монтажна сила притискання, кН;  $y$  – деформація (пружний хід) клеми, мм.

Відповідно до [8] для подальших розрахунків за основу в дослідженнях було взято середнє значення нормативного монтажного притискання клеми до підшви рейки, що складає – 10 кН. Згідно з цим по експериментальних дослідженнях, що зображені на рис. 2, було визначено значення вертикальної жорсткості  $J_K$  досліджуваних клем із діаметром прутка 16, 16,5 та 17 мм відповідно. Результати досліджень наведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Значення вертикальної жорсткості нових клем рейкового скріплення типу КПП-5**

**Vertical stiffness value of a new terminal in the rail fastening, type КПП-5**

Table 1

№ з/п клеми	Тип скр.	Діаметр прутка клеми ( $d$ ), мм	Пружний хід клеми ( $y$ ), мм	Жорсткість клеми ( $J_K$ ), кН/мм
1		16,0	9,7	1,031
2	КПП-5	16,5	8,5	1,176
3		17,0	7,3	1,370

Згідно з табл. 1 встановлено, що середнє значення жорсткості та пружного ходу нової клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до експлуатації становить відповідно  $J_K = 1,192$  кН/мм, та  $y = 8,5$  мм, що входить в діапазон допусків згідно з дослідженнями [8, 9].

Дослідження впливу різних факторів на величину розмикання силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка». Значення пружного ходу клеми рейкового скріплення типу КПП-5 носить випадковий характер [10], що також залежить від відстані розташування осі отвору анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали після замоноличення його в шпалу. Схема замірів центрування осей отвору монолітного анкера відносно підрейкової основи шпали типу СБЗ-0, зображена на рис. 3.

Проаналізувавши отримані дані, було встановлено, що вірогідна оцінка очікуваного значення величини ходу клеми під час її монтажу в робоче положення коливається в межах  $\delta = 11–15$  мм, середнє значення якого становить

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

$\delta_{\text{сер}} = 13$  мм. При цьому вірогідна оцінка очікуваного значення величини сили притискання відповідно до діапазону значень  $\delta$ , мм, становитиме  $P_r = 13,58–19,57$  кН. Середнє значення монтажної сили притискання клеюю рейки до підрейкової основи становитиме  $P_r^{\text{сер}} = 16,56$  кН.

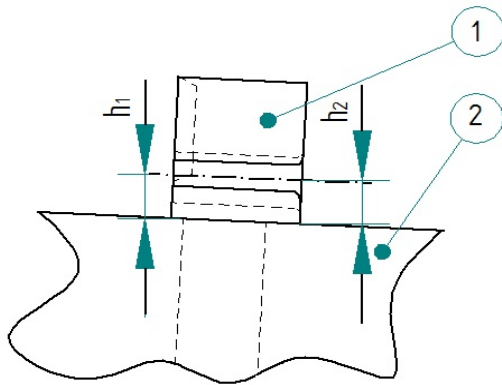


Рис. 3. Схема промірів центрування осі отвору анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали:  
1 – анкер; 2 – залізобетонна шпала типу СБ3-0

Fig. 3. Measurements scheme of a centre line in a anchor hole in relation to the rail seat of concrete sleepers:

1 – anchor; 2 – concrete sleeper, type СБ3-0

Для більш детальної оцінки стабільності роботи силового ланцюжка «рейка–клема–прокладка», у 2014 році кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу були виконані експериментальні полігонні дослідження по визначенню сили притискання клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до рейки під час експлуатації. Дослідження виконувались на ділянках з пропущеним тоннажем: 147, 160, 173, 185, 277,9 та 447,3 млн т бр. Методика даних досліджень ґрунтувалась у досліджуванні пружних деформацій клем рейкового скріплення типу КПП-5 під час експлуатації.

Експериментально отримані номінальні середні значення величини пружної деформації, жорсткості клеми та її сили притискання до рейки при одночасно зношених прокладках на ділянках колії із різним пропущеним тоннажем зображені на рис. 4–6 відповідно.

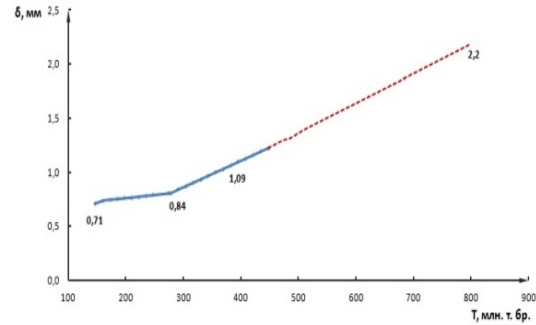


Рис. 4. Залежність пружної деформації клеми ( $\delta$ , мм) при експлуатації відносно пропущеного тоннажу ( $T$ , млн т бр.)

Fig. 4. The dependence of the elastic deformation of the terminal ( $\delta$ , mm) at exploitation in relation to the skipped tonnage ( $T$ , mill. tons gross)

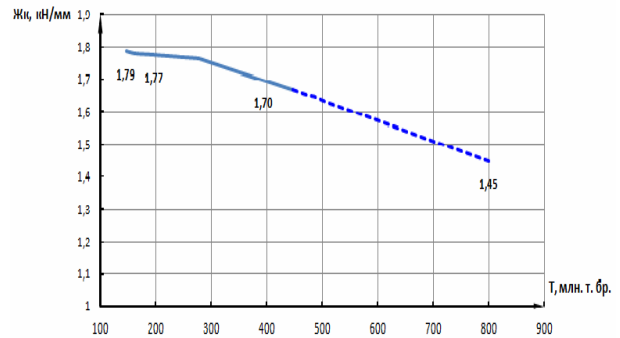


Рис. 5. Зміна жорсткості клеми при експлуатації відносно пропущеного тоннажу ( $T$ , млн т бр.)

Fig. 5. Inflexibility change of the terminal at exploitation in relation to the skipped tonnage ( $T$ , mill tons gross)

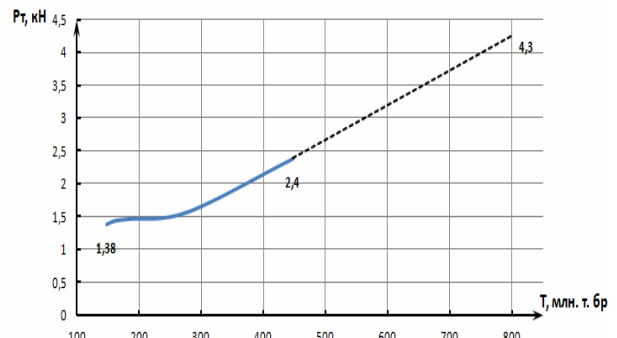


Рис. 6. Зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи залежно від релаксації клеми

Fig. 6. Decrease the pressing force of the rail to the rail base depending on terminal relaxation

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Емпірично було встановлено, що зменшення сили притискання клеми до рейки залежно від пропущеного тоннажу можна описати за такою залежністю:

$$P_T = P_0 - \beta T, \quad (5)$$

де  $P_T$  – сила притискання клеми до рейки після пропуску  $T$ , млн т бр.;  $P_0$  – монтажна сила притискання клеми до рейки в початковий момент експлуатації;  $\beta$  – середня інтенсивність зниження сили притискання клеми.

Скориставшись виразом (5) та знаючи значення монтажної сили притискання клеми до рейки ( $P_0$ , кН) та сили ( $P_T$ , кН) після певного пропущеного тоннажу згідно із рис. 5, можна визначити середню інтенсивність зменшення сили притискання клеми ( $\beta$ ) на 1 млн т бр., що зображено на рис. 7.

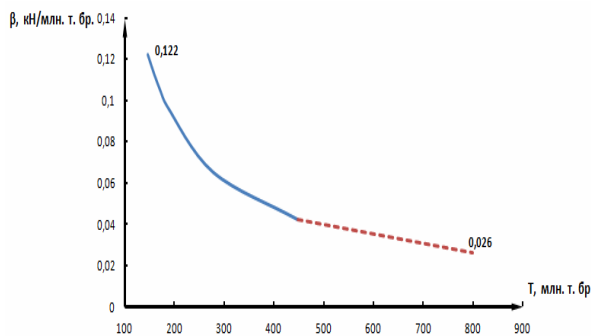


Рис. 7. Інтенсивність зменшення сили притискання клеми залежно від пропущеного тоннажу

Fig. 7. Intensity of decrease the pressing force of the terminal depending on the skipped tonnage

Для більш детальної оцінки силової роботи пружних клем були виконані дослідження по визначенню пружної деформації клеми в залежності від технологічного процесу – «монтаж-демонтаж».

Експериментально отримані середні значення зміни пружної деформації крайньої консолі (носіка) клеми залежно від багато-циклового виконання – «монтаж-демонтаж» зображені графічно на рис. 8.

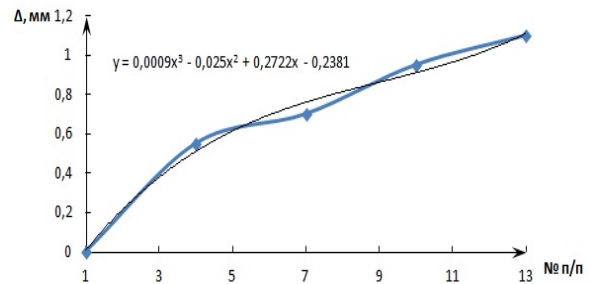


Рис. 8. Зміна пружної деформації клеми від виконання процесу – «монтаж-демонтаж»

Fig. 8. Elastic deformation change of the terminal from execution process – «assembly-disassembly»

Результати спостережень залежності величини пружної деформації від виконання – «монтаж-демонтаж» було апроксимовано (рис. 8). Характер зміни величини пружної деформації крайньої консолі (носіка) клеми носить нелінійний характер, що описується виразом:

$$y = 0,0009x^3 - 0,025x^2 + 0,2722x - 0,2381. \quad (6)$$

Підставивши значення першого виконання – «монтаж-демонтаж» у функцію « $y$ », встановлено, що величина пружної залишкової деформації клеми становитиме  $y=0,01$  мм.

З метою дослідження впливу роботи підрейкових прокладок на величину сили притискання, були виконані заміри їх пружних залишкових деформацій під час експлуатації у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5.

Отримані експериментальні дані наочно зображено на рис. 9.

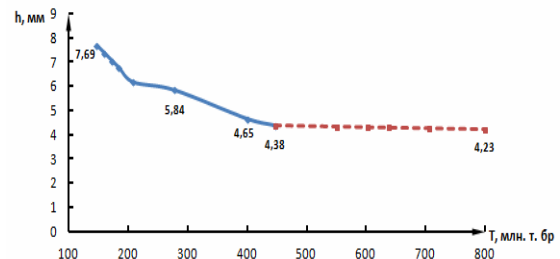


Рис. 9. Залежність пружної залишкової деформації підрейкової прокладки від пропущеного тоннажу

Fig. 9. The dependence of the residual elastic deformation of a rail pad on the skipped tonnage

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Із рис. 9, згідно з теоретично виконаними дослідженнями, можна передбачити, що товщина підрейкової прокладки під час експлуатації при пропущеному тоннажі від  $T=400$  млн т бр. до  $T=800$  млн т бр. практично не змінюється, що становить 9 %. Виникає зношення (стирання) рифлів (випуклостей) на поверхні прокладки, що призводить до зменшення сили притискання рейки до підрейкових опор.

Доцільним може бути припущення, що поліуретанові прокладки типу ПРП-2.1 мають високу жорсткість, при якій не виконується пружна передача динамічної дії коліс рухомого складу на колію, що може призвести до появи дефектів та прискореного процесу пошкодження елементів верхньої будови колії [1, 2, 6, 12, 15].

Проаналізувавши та дослідивши як теоретичним, так і експериментальним шляхом особливості роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, було встановлено, що на величину розмикання силового ланцюжка – «рейка–клема–прокладка» впливає велика кількість факторів. Основними з яких є: конструкція, матеріал, товщина та жорсткість підрейкової прокладки; розташування осей отворів анкера відносно підрейкової площадки після замоноличення його в залізобетонну шпалу; релаксація напружень в металі клеми, конструкція, розміри прутка клеми; технологічний процес виконання – «монтаж-демонтаж» клеми. Цей вплив схематично зображено на рис. 10.

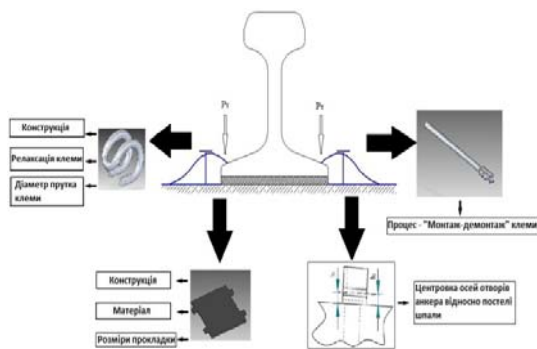


Рис. 10. Конструктивна схема силового ланцюжка – «рейка–клема–прокладка»

Fig. 10. Construction scheme of the power chain – «rail-terminal-pad»

Враховуючи залежність значення величини сили притискання рейки до підрейкової основи у вузлі проміжного рейкового скріплення типу

КПП-5 від різних факторів, що розглядалися та досліджувалися вище, було встановлено їх вплив у процентному співвідношенні. Значення процентного впливу різних факторів зображено на рис. 11.

Беручи до уваги вплив кожного із факторів на силову взаємодію ланцюжка – «рейка–клема–прокладка» у проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5, встановлено загальне передбачуване зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом  $T=0-800$  млн т бр., з врахуванням впливу різних факторів зображено на рис. 12.

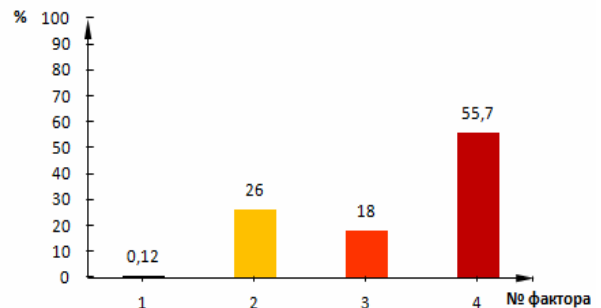


Рис. 11. Вплив факторів на силу притискання рейки до підрейкової основи в рейковому скріпленні типу КПП-5: 1 – «монтаж-демонтаж клеми»; 2 – релаксація клеми; 3 – розташування осей анкера; 4 – знос прокладки

Fig. 11. Influence of factors on pressing force of the rail to rail base in rail fastening, type КПП-5: 1 – «assembly-disassembly of the terminal»; 2 – relaxations of the terminal; 3 – axes of anchor locations; 4 – wears of a pad

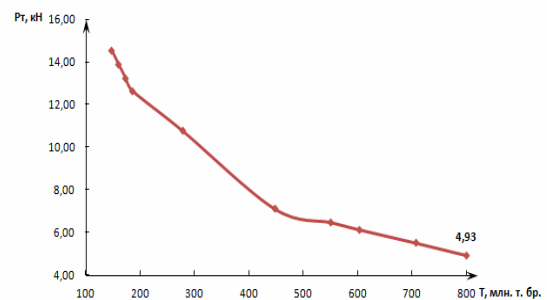


Рис. 12. Графік загального зменшення сили притискання із врахуванням всіх факторів

Fig. 12. A chart of general reduction of pressing force taking into account all factors



## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Із рис. 12 встановлено, що залежно від пропущеного тоннажу величина зміни сили притискання рейки до підрейкової основи в основному змінюється за лінійним законом. Скачкоподібне загальне значення зменшення сили притискання, починаючи з  $T=147$  млн т бр. до  $T=400$  млн т бр. спричинене нерівномірним зношенням (стиранням) підрейкової прокладки. Із досліджень, зображених на рис. 9 можна припустити, що товщина підрейкової, починаючи від  $T=400$  млн т бр. до  $T=800$  млн т бр., практично не змінюється.

**Результати**

Аналізуючи попередньо отримані дані, встановлено, що на процес зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи у скріпленні типу КПП-5 в основному впливають такі фактори, як: зношення підрейкових прокладок – 55,7 %; центрування осей отворів анкерів – 18 %; релаксація клеми – 26 %; виконання технологічного процесу «монтаж-демонтаж» – 0,12 %.

Загальне передбачуване зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом  $T=0-800$  млн т бр. з врахуванням впливу вищенаведених факторів може досягати  $P_T = 4,93$  кН.

**Наукова новизна та практична значимість**

Обґрунтована та розроблена методика виконання досліджень за роботою вузла рейкового скріплення типу КПП-5. З допомогою розробленої методики встановлено вплив пружних деформацій елементів вузла скріплення типу КПП-5 на величину сили притискання рейки до підрейкової основи.

Для встановлення числової оцінки зниження сили притискання клеми до рейки, залежно від пропущеного тоннажу, принцип роботи колійного пристрою по вимірюванню сили притискання клеми до рейки у скріпленні типу КПП-5 було описано та виражено емпіричною залежністю.

**Висновки**

Розроблено конструкцію пристрою, що дає можливість визначити пружні властивості та силу притискання клеми до рейки у скріпленні типу КПП-5. Конструкція пристрою проста в експлуатації та недорога під час виготовлення. З допомогою розробленої конструкції пристрою встановлено, що зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи за рахунок релаксації клеми на кінець міжремонтного терміну складає  $P_T = 25,97$  % згідно з [11] не менше – 10 кН.

Головним факторами, які впливають на зменшення величини сили притискання рейки до підрейкової основи при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 є процес зношення підрейкової прокладки, що на кінець міжремонтного терміну може скласти  $P_T = 55,7$  %.

Центрування осей отворів анкерів відносно підрейкової основи залізобетонної шпали типу СБ-3 становить  $P_T = 18$  %. Тому на основі виконаних досліджень за роботою вузла рейкового скріплення типу КПП-5 – виникає необхідність розглянути конструкцію підрейкової прокладки з метою її удосконалення як на стадії проектування, так і під час її виготовлення. Під час виготовлення залізобетонних шпал типу СБ-3, необхідно чітко встановити контроль та точність технології замоноличення анкера в тіло шпали з метою уникнення розбіжностей у центруванні осей отворів анкера відносно підрейкової основи шпали.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Акт обстеження ділянки колії зі скріпленням типу КПП-5 на Львівській залізниці по Мукачівській дистанції колії. Ст. Воловець / Ю. О. Макаров., В. П. Третяков., Д. О. Дроздов., В. В. Грубов. – Дніпропетровськ, 2011. – 5 с.
2. Говоруха, В. В. Создание и внедрение упругих элементов промежуточного скрепления рельсового пути. / В. В. Говоруха // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 162–171.
3. Інструкція з укладання та утримання рейкової колії з рейками типу Р65, УІС60 і пружним проміжним скріпленням типу КПП-5 та високоміцними ізолюючими стиками : ЦП-0104 /

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- С. М. Демченко, В. Л. Піскунов, О. В. Саєнко, В. О. Сестринський. – Київ : Транспорт України, 2003. – 46 с.
4. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень рейок на залізницях України : ЦПО285 / В. В. Рибкін, А. М. Орловський, М. І. Уманов [та ін.]. – Київ : Транспорт України, 2013. – 194 с.
  5. Купцов, В. В. Современные конструкции и параметры промежуточных рельсовых скреплений для железобетонных шпал / В. В. Купцов // Повышение надежности работы верхнего строения пути : сб. тр. ВНИИЖТа. – Москва, 2000. – Вып. 570. – С. 100–129.
  6. Нехорошев, Ю. П. Результаты испытаний скрепления СБ-3 / Ю. П. Нехорошев, В. И. Матвеев // Путь и путевое хоз-во. – Москва, 2005. – Вып. 6. – С. 26–27.
  7. Оцінка параметрів пружної клеми марки КП-5.2 / М. Д. Костюк., В. В. Рибкін., І. О. Бондаренко., Н. М. Івченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 11–17.
  8. Перегляд «Класифікації і каталогу дефектів і пошкоджень рейок на залізницях України» : звіт НДР / кер. Рибкін В. В. ; викон. : Орловський А. М., Уманов М. І., Маркуль Р. В., Панченко П. В. – Дніпропетровськ, 2012. – 61 с. – Бібліогр. : 5–61. – ГР 0107U010385. – Інв. № 485.
  9. Рибкін, В. В. Надійність залізничної колії : навч. посібник / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2013. – 154 с.
  10. Солдатов, А. А. Влияние конструкции жестких клемм промежуточных скреплений на работу рельсового пути / А. А. Солдатов // Весн. ВНИИЖТа. – 1985. – Вып. 237. – С. 46–49.
  11. ТУ У 32. 30268559.039-2001. Клема пружна типу КП-5 проміжного скріплення КПП-5 : на дослідну партію : техн. вимоги. – Введ. 2001. – Дніпропетровськ : Вид-во стандартів, 2001. – 18 с.
  12. Kaewunruen, S. Dynamic flexural influence on a railway concrete sleeper in track system due to a single wheel impact / S. Kaewunruen A. M. Remennikov // Engineering Failure Analysis. – 2009. – Vol. 16. – Iss. 3. – P. 705–712. doi: 10.1016/j.engfailanal.2008.06.002.
  13. Rezaie, F. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre – stressed concrete sleepers / F. Rezaie M. R. Shiri S. M. Farman // Engineering Failure Analysis. – 2012. – Vol. 26. – P. 21–30. doi: 10.1016/j.engfailanal.2012.07.001.
  14. Rybkin, V. V. Stability issues of the continuous welded rail track on the concrete sleepers on the curves with radius  $R \leq 300$  m. / V. V. Rybkin, N. P. Nastechik, R. V. Marcul // Sciences in Cold and Arid Region. – 2013. – Vol. 5. – P. 654 – 658.
  15. Visualization and modelling to understand rail rolling contact fatigue cracks in three dimensions / J. E. Garnham, D. I. Fletcher, C. L. Davis, F. J. Franklin // Proc. of the Institution of Mechanical Engineering, Part F: J. of Rail Rapid Transit. – 2011. – Vol. 225. – Iss. 2. – P. 165–178. doi: 10.1177/2041301710jrrt414.

М. П. НАСТЕЧИК<sup>1</sup>, Р. В. МАРКУЛЬ<sup>2\*</sup>, В. В. САВИЦКИЙ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта nastechik\_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-4178-6092

<sup>2\*</sup>Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта guaranga\_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-7630-8963

<sup>3</sup>Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта savitskiy@mai.ru, ORCID 0000-0002-9460-3915

## ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СКРЕПЛЕНИЯ ТИПА КПП- 5 НА ВЕЛИЧИНУ СИЛЫ ПРИЖАТИЯ РЕЛЬСА К ПОДРЕЛЬСОВОМУ ОСНОВАНИЮ

**Цель.** Железнодорожный транспорт является одним из важнейших звеньев экономики Украины и основой ее транспортной системы. Учитывая то, что большинство грузовых перевозок угольной и металлургической промышленности проводится железнодорожным транспортом, эффективное его использование является



## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ся необходимым условием стабилизации и развития экономики Украины. Одной из стратегических работ, связанных с внедрением скоростного движения поездов в Украине, является обеспечение надежной работы узла промежуточного рельсового крепления во время эксплуатации. Именно на путевые работы по содержанию и ремонту креплений приходится значительная доля трудовых затрат во время эксплуатации пути. Одним из отечественных промежуточных креплений, которое после длительных эксплуатационных наблюдений внедрилось в постоянную эксплуатацию, является крепление типа КПП-5. Данное крепление – это прототип польского рельсового крепления типа SB-3. После длительной эксплуатации в креплении типа КПП-5 выявлен ряд недостатков, связанных с преждевременным отказом его элементов, что, в основном, связано с интенсивным уменьшением величины силы прижатия рельса к подрельсовому основанию. Поэтому целью исследования является разработка методики и практических средств контроля за состоянием работы узла рельсового крепления типа КПП-5 во время эксплуатации. **Методика.** В основе методики проведения исследований лежит оценка влияния различных факторов на величину силы прижатия рельса к подрельсовому основанию в узле рельсового крепления типа КПП-5 во время эксплуатации. **Результаты.** С помощью разработанной методики и практических средств контроля было установлено, что общее предполагаемое уменьшение силы прижатия рельса к подрельсовому основанию в течении  $T = 0 - 800$  млн. т. бр. с учетом влияния различных факторов, может составлять  $P_T = 4,93$  кН. **Научная новизна.** По результатам исследования авторами впервые был описан и выражен эмпирической зависимостью процесс изменения силы прижатия рельса к подрельсовому основанию в креплении типа КПП-5 после пропуска  $T$ , млн. т. бр. **Практическая значимость.** Разработана конструкция устройства для контроля упругих свойств и численной оценки снижения силы прижатия клеммы к рельсу в зависимости от пропущенного тоннажа.

*Ключевые слова:* промежуточное крепление типа КПП-5; упругая клемма; жесткость; сила прижатия

N. P. NASTECHIK<sup>1</sup>, R.V. MARCUL<sup>2\*</sup>, V. V. SAVYTSKYI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dep. « Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail nastechik\_mp@mail.ru, ORCID 0000-0002-4178-6092

<sup>2\*</sup>Dep. « Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail guaranga\_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-7630-8963

<sup>3</sup>Dep. « Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail savitskyi@mai.ru, ORCID 0000-0002-9460-3915

## ELASTIC DEFORMATIONS IMPACT IN ELEMENTS OF THE RAIL FASTENING, TYPE КПП-5 ON A SIZE OF PRESSING FORCE OF THE RAIL TO THE SUBRAIL BASIS

**Purpose.** The railway transport is one of the most important links in economy of Ukraine, and it is a basis of its transport system. As the majority of freight transportation of coal and metallurgical industry is conducted by railway transport, its effective use is a necessary condition of stabilization and development in economy of Ukraine. One of the strategic works connected with implementation of high-speed train service in Ukraine is the reliable work ensuring of connection of intermediate rail fastening during operation. For engineering works, according to the contents and repair of fastenings the considerable share of labor expenses during operation of a way is necessary. One of domestic intermediate fastenings which after long operational supervision has implemented into continuous operation is the fastening, type КПП-5. This fastening is a prototype of the Polish rail fastening type SB-3. After the long operation in fastenings, type КПП-5, a number of the shortcomings connected with premature refusal of its elements was revealed. This in generally is connected with intensive reduction of size of pressing force of a rail to the subrail basis. Therefore the purpose is the development of a technique and practical control devices concerning a condition of work of a rail fastening knot, type КПП-5 at operation. **Methodology.** The assessment of various factors impact at a size of pressing force of a rail to the subrail basis in the knot of a rail fastening, type КПП-5 at operation is the foundation of the research method. **Findings.** By means of the developed technique and practical control devices it was established: the general reduction of pressing force of a rail to the subrail basis during one  $T = 0 - 800$  mill.

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

*tons gross.*, taking into account influence of various factors, may constitute  $P_T = 4,93 \text{ kN}$ . **Originality.** Accordingly to the obtained results the author firstly described and expressed by empirical dependence the process of change of pressing force of a rail to a subrail basis in a fastening, type КПП-5 after the admission of T, one *mill. tons gross.* **Practical value.** The device design is developed for control of elastic properties and a numerical assessment of pressing force decrease of the terminal to a rail depending on the passed tonnage.

*Keywords:* intermediate fastening type КПП-5; elastic terminal; stiffness; pressing force

## REFERENCES

1. Makarov Yu.O., Tretiakov V.P., Drozdov D.O., Hrubov V.V. Akt obstezhennia dilianky kolii zi skriplenniam typu KPP-5 na Lvivskii zaliznytsi po Mukachivskii dystantsii kolii. St. Volovets [Certificate of inspection of the road sections with pinning type КПП-5 on the Lvov railroad in Mukachevo track. Volovets Station]. Dnipropetrovsk, 2011. 5 p.
2. Govorukha V.V. Sozdaniye i vnedreniye uprugikh elementov promezhutochnogo skrepleniya relsovogo puti [Creation and implementation of the elastic elements of the intermediate rail track fastening]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 162-171.
3. Demchenko S.M., Piskunov V.L., Saienko O.V., Sestrynskyi V.O. Instrukttsiia z ukladannia ta utrymannia reikovoii kolii z reikamy typu R65, UIC60 i pruzhnym promizhnym skriplenniam typu KPP-5 ta vysokomitsnyimi izoliuiuchymy stykamy : TsP-0104 [Instructions for laying and maintenance of track with rails type R65, UIC60 and elastic intermediate bond, type КПП-5 and high strength and insulating joints: TsP0104]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2003. 46 p.
4. Rybkin V.V., Orlovskiy A.M., Umanov M.I. *Klasyfikatsiia i kataloh defektiv i poshkodzhen reioik na zaliznytsiakh Ukrainy: TsP0285* [Classification and catalogue of defects and damages of rails on the Railways of Ukraine: TsP0285]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2013. 194 p.
5. Kuptsov V.V. Sovremennyye konstruktsii i parametry promezhutochnykh relsovykh skreplenyi dlya zhelezobetonnykh shpal [Modern design and parameters of the intermediate rail fasteners for concrete sleepers]. *Sbornik trudov Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. Povysheniye nadezhnosti raboty verkhnego stroeniya puti* [Proc. of All-Russian Research Institute of Railway Transport. Increase of Reliability of Work of the Permanent Way]. Moscow, 2000, issue 570, pp. 100-129.
6. Nekhoroshev Yu.P., Matvetsov V.I. *Rezultaty ispytaniy skrepleniya SB-3* [The test results of the bonding SB-3]. Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities, 2005, issue 6, pp. 26-27.
7. Kostyuk M.D., Rybkin V.V., Bondarenko I.O., Ivchenko N.M. Otsinka parametriv pruzhnoi klemy marky KP-5.2 [Evaluation of elastic parameters of the brand KP-5.2]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], Dnipropetrovsk, 2003, issue 2, pp. 11-17.
8. Rybkin V.V., Orlovskiy A.M., Umanov M.I., Markul R.V., Panchenko P.V. *Perehliad klasyfikatsii i katalohu defektiv i poshkodzhen reioik na zaliznytsiakh Ukrainy* [Review of Classification and catalogue of defects and damages of rails on the Railways of Ukraine]. Dnipropetrovsk, 2012. 61 p. GR 0107U010385. № 485.
9. Rybkin V.V., Bondarenko I.O., Kurhan D.M. *Nadiinist zaliznychnoi kolii* [Reliability of railway track]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2013. 154 p.
10. Soldatov A.A. Vliyaniye konstruktsii zhestkikh klemm promezhutochnykh skreplenyi na rabotu relsovogo puti [Impact of design hard terminals of intermediate fasteners for rail track work]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. Povysheniye nadezhnosti raboty verkhnego stroeniya puti* [Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport. Increase of Reliability of Work of the Permanent Way], 1985, issue 237, pp. 46-49.
11. TU U 32. 30268559.039-2001. *Klema pruzhna typu KP-5 promizhnogo skriplennia KPP-5. Na doslidnu partiiu. Tekhnichni vymohy* [TU 32. 30268559.039-2001. The elastic terminal type КП-5 intermediate bond КПП-5. On an experimental batch. Technical requirements]. Dnipropetrovsk, Standartinform Publ., 2001. 18 p.
12. Kaewunruen S., Remennikov A.M. Dynamic flexural influence on a railway concrete sleeper in track system due to a single wheel impact. *Engineering Failure Analysis*, 2009, vol. 16, issue 3, pp. 705-712. doi: 10.1016/j.engfailanal.2008.06.002.

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

13. Rezaie F., Shiri M.R., Farman S.M. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre – stressed concrete sleepers. *Engineering Failure Analysis*, 2012, vol. 26, pp. 21-30. doi: 10.1016/j.engfailanal.2012.07.001.
14. Rybkin V.V., Nastechik N.P., Marcul R.V. Stability issues of the continuous welded rail track on the concrete sleepers on the curves with radius  $R \leq 300$  m. *Sciences in Cold and Arid Region*, 2013, vol. 5, pp. 654-658.
15. Garnham J.E., Fletcher D.I., Davis C.L., Franklin F.J. Visualization and modelling to understand rail rolling contact fatigue cracks in three dimensions. *Proc. of the Institution of Mechanical Engineering, Part F: Journal of Rail Rapid Transit*, 2011, vol. 225, issue 2, pp. 165-178. doi: 10.1177/2041301710jrtr414.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна); д.т.н., проф. Е. І. Даниленком (Україна)*

Надійшла до редакції: 28.05.2015

Прийнята до друку: 13.08.2015