

УДК 625.143: 539.43

## ОЦІНЮВАННЯ ВИТРИВАЛОСТІ ПРУЖНИХ КЛЕМ РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ КПП-5

*В. І. ГРИБОВСЬКА, Р. В. ЧЕПІЛЬ*

*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів*

За результатами спостереження ділянки залізничної колії встановлено силу притиску рейкового скріплення КПП-5 за монтажного стану і її зміну під час проходження вантажного потягу. Розроблено методику випробування на витривалість пружних клем такого скріплення та побудовано криву втоми для клем, виготовлених зі сталі 60С2.

**Ключові слова:** *клема пружна, навантаження, деформація, витривалість.*

Обсяг перевезень в Україні від 2001 до 2011 року зріс із 370 до 468 млн. т на рік, тобто на 27% [1–3], що призвело до підвищення силового навантаження від рухомого складу на колію. У зв'язку із цим виникла потреба в реконструкції верхньої будови колії (рейка–скріплення–шпала–баласт) для забезпечення стабільної її роботи [4, 5]. За конструкцією і технологією найскладнішим вузлом у цій системі є скріплення рейки до шпали. Тривало використовуване костильне скріплення (так зване ДО) та скріплення типу КБ [6] вже не відповідають сучасним вимогам експлуатації (швидкість руху вантажних потягів – 80...100 km/h та пасажирських – 140...160 km/h, вантажонапруженість понад 25 млн. т брутто в рік та осьові навантаження 250 kN), що зумовило потребу у розробці нових типів скріплення [7–9].

Сучасними світовими стандартами рейкових скріплень є Pandrol (Великобританія), Vossloh (Німеччина), SB-W1 (Польща) [9–12], однак вони не забезпечують надійної роботи в експлуатаційних умовах вітчизняних залізниць. З 2003 року на залізницях України розпочато впровадження скріплення типу КПП-5 і на сьогодні ним укомплектовано майже 4000 km залізничних шляхів [7, 13]. Його головні переваги: пружне і надійне притиснення рейки до шпали за достатнього опору рейкової нитки поздовжнім і поперечним переміщенням; суттєво менші витрати на монтаж рейко-шпальної системи (до 48% економії порівняно зі скріпленням КБ) і утримання колії (до 25% економії); низька металоємність та мала кількість деталей (5 елементів, враховуючи, що анкер складник шпали, порівняно з 21 елементом у скріпленні КБ) [4]. Скріплення КПП-5 використовують на прямих ділянках безстиківих залізничних колій та криволінійних ділянках з радіусом не менше 350 m за вантажонапруженості до 45 млн. т брутто у рік зі швидкістю руху пасажирських потягів до 140 km/h і вантажних – до 90 km/h. Воно укладається в колію з рейками типу Р65, Р50 чи подібних європейських аналогів, наприклад UIC-60, на залізобетонні шпали, а середній ресурс становить 500 млн. т брутто пропущеного вантажу [14]. Зрозуміло, що для забезпечення надійності функціонування та підвищення якості контролю і обслуговування колії необхідна достовірні інформация про умови експлуатації вузла скріплення та ресурсні характеристики його елементів.

Мета роботи – дослідити рейкове скріплення типу КПП-5 у реальних умовах експлуатації та розробити методику випробування пружних клем як найважливіших елементів його конструкції.

**Будова вузла скріплення КПП-5.** Він складається (рис. 1) з двох забетонуваних у шпалу анкерів 1, які передають на неї бокове навантаження від рейки і кріплять пружні клеми 2, що забезпечують постійне притиснення рейки до шпали [15, 16]. Між клемами та рейкою встановлюють ізолюючі вкладиші 3, а для електричної ізоляції підшви рейки від залізобетонної шпали та зниження динамічних навантажень від рухомого складу встановлюють підрейкову прокладку 4.

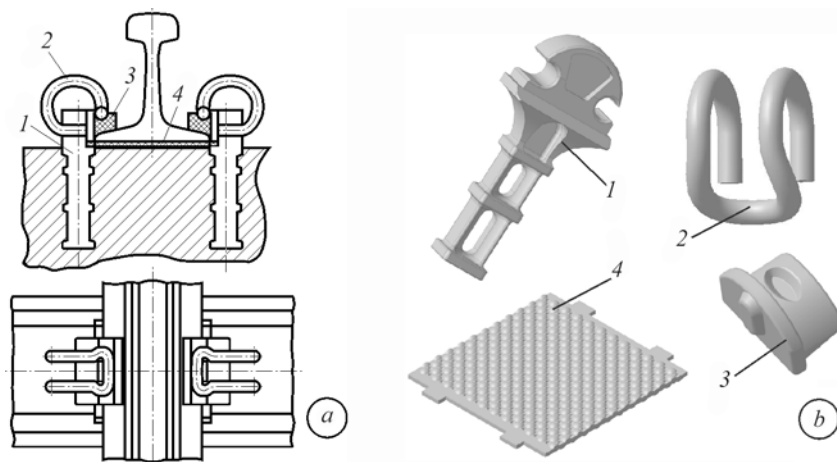


Рис. 1. Вузол (а) та складники (b) рейкового скріплення КПП-5:  
1 – анкер; 2 – клема пружна; 3 – ізолюючий вкладиш; 4 – підрейкова прокладка.

Fig. 1. Assembly (a) and components (b) of КПП-5 type rail fastening:  
1 – anchor; 2 – clamp; 3 – insulating shell; 4 – spacer.

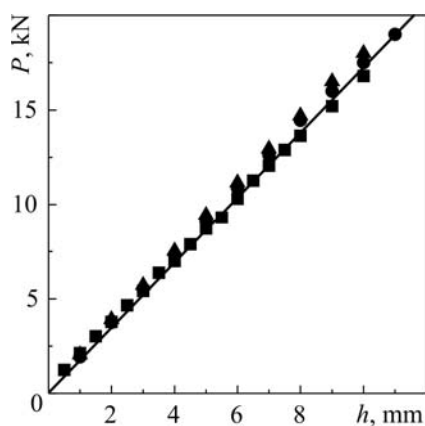


Рис. 2. Залежність сили притиску клеми ( $P$ ) від вертикального переміщення ( $h$ ) її головки (результати для різних клем).

Fig. 2. Dependence of clamp compression force ( $P$ ) vs vertical displacement ( $h$ ) of its head (data for various clamps).

1,75 kN/mm відповідає силі притиску 12,3...14,0 kN (рис. 2).

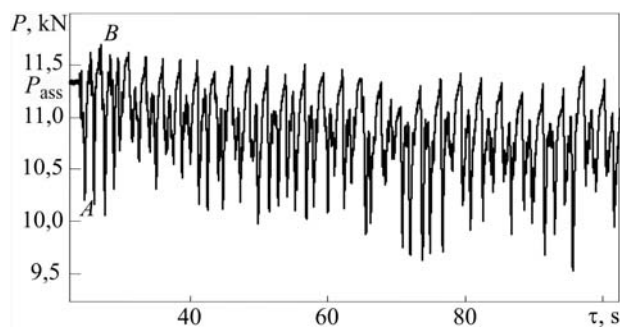
**Дослідження роботи скріплення на колії.** В експлуатаційних умовах визначили силу клемного притиску під час проходження вантажного потягу на перегоні Скнилів–Миколаїв Львівської залізниці. Дійсні значення сили притиску та особливості її зміни в часі отримували за допомогою тензометричного пристрою.

Згідно з нормативними документами [17], для забезпечення стійкості рейкових ниток сила притиску клеми повинна становити не менше 8 kN. Оскільки під час проходження потяга за рахунок просідання підрейкової прокладки сила притиску клеми може суттєво зменшуватись, то скріплення розробили таким чином, що клеми перебувають під сталим статичним навантаженням. Під час монтажу вузла клема розгинається і вертикальне переміщення її головки рівне 9,0 mm. Згодом воно зменшується за рахунок просідання прокладки на 1...2 mm. Наприклад, прокладка, виготовлена з пластмаси марки “Еластолан” (Німеччина) просідає на 1 mm, а з пластмаси “Вітур” (Росія) – до 2 mm [4]. У результаті клема зазнає зворотної пружної деформації і її початкове вертикальне переміщення (9,0 mm) зменшується до 7,0...8,0 mm, що за жорсткості

Робота пристрою така. У вузол скріплення замість ізолюючого вкладиша (рис. 1, позиція 3) встановлюють так званий “модифікований” вкладиш, який у зоні прикладання сили клемного притиску має вмонтований тензорезистивний давач, за сигналами якого визначають діючі зусилля в часі, що виводяться на монітор переносного комп’ютера у вигляді графіка (рис. 3). Робоча частота пристрою 48 МГц, а період вимірювань 1 ms.

Рис. 3. Зміна сили клемного притиску рейки в часі під час проходження вантажного потягу.

Fig. 3. Change of clamp compression force in time during train movement.



Встановлено (рис. 3), що під час проходження потяга вузол скріплення і, зокрема, клема зазнають циклічних навантажень, які з часом можуть спричинити втомне руйнування клеми і вихід з ладу цілого вузла. Вони асиметричні відносно монтажного навантаження  $P_{ass}$ . Зокрема, під час наїзду колеса на шпалу клема зазнає розвантаження (рис. 3, точка A) і сила клемного притиску зменшується за рахунок стиску еластичної підрейкової прокладки. Після проходження колеса сила притиску набуває попереднього значення, а за рахунок вигину рейки трохи збільшується, незначно перевищуючи статичний рівень на 0,3...0,5 kN (рис. 3, точка B). Під час проходження потягу сила притиску змінювалась від  $P_{min} = 9,6$  kN до  $P_{max} = 11,6$  kN (рис. 3), тобто розмах навантаження становив 2,0 kN, що відповідає розмаху вертикального переміщення головки клеми 1,1 mm (див. рис. 2). Однак слід зауважити, що залежно від ваги потягу, його швидкості, типу колісних візків, віддалі між шпалами та інших чинників перевищення сили притиску вище монтажного рівня може і не спостерігатися.

Таким чином, аналіз роботи вузла скріплення за реальних умов експлуатації показав, що для визначення ресурсу пружні клеми необхідно випробовувати на витривалість із забезпеченням амплітуди 0,8...1 kN за високої асиметрії циклу навантаження. На колії монтажний натяг клем залежить від багатьох чинників, а саме: товщини і жорсткості підрейкових прокладок та ізолюючих вкладишів; відстані від осі отвору анкера до площадки рейкової основи після бетонування шпали; допусків на виготовлення всіх деталей вузла скріплення тощо. Тому значення монтажного натягу клеми може коливатись у досить широких межах. Аналіз статистичних параметрів натягу подібних пружних елементів європейських безболтових рейкових скріплень показав [18], що середнє значення вертикального монтажного переміщення головки клеми становить 8,0 mm за середньоквадратичного відхилення  $\pm 1,4$  mm, а сила притиску клеми за її жорсткості 2 kN/mm – 16 kN за середньоквадратичного відхилення  $\pm 2,8$  kN. Розрахунки для скріплення КПП-5 вказують на межі 4,7...10,7 mm і 8,2...18,7 kN, відповідно (див. рис. 2). Деякі автори [19] під час розрахунків вертикальної жорсткості скріплення задають вертикальне переміщення головки клеми під час монтажу на рівні 6 mm, що, враховуючи вищенаведені особливості виготовлення та роботи вузла, може не забезпечити необхідної сили притиску рейки за тривалої дії динамічних сил і спричинити деформацію колії.

Як відзначалося вище, під час проходження потягу максимальне значення сили притиску  $P_{max}$  в окремих випадках може перевищити монтажний рівень навантаження  $P_{ass}$  на 3...5% (рис. 3). Тоді, за найбільшого розрахункового зна-

чення вертикального переміщення головки клеми (10,7 mm) максимальні навантаження, які може зазнавати клема, становитимуть 19,6 kN (див. рис. 2). Отже, під час випробування на витривалість необхідно забезпечити варіацію максимального навантаження  $P_{\max}$  в діапазоні 8...20 kN, а мінімального  $P_{\min}$  – 6...8 kN ( $R = 0,75...0,9$ ).

**Методика випробування клем.** Схема закріплення і навантаження клеми передбачає її випробування за циклічного розтягу (рис. 4). До верхнього нерухомого захвата 1 за допомогою роз'ємного фіксатора 3 кріпиться клема, яка навантажується в зоні її головки через нижній рухомий захват 2 за допомогою гака 4. Пальці 5 забезпечують рухоме з'єднання гака і фіксатора із захватами. Захвати 1 і 2 мають різьбове з'єднання з нижньою і верхньою траверсами втомної машини жорсткого типу (із заданими переміщеннями). Контролюють силу динамометром, встановленим на верхньому захваті, сигнал з якого передається через аналогово-цифровий перетворювач на персональний комп'ютер. Переміщення головки клеми фіксується двома індикаторами, один з яких дає змогу контролювати її статичний розтяг, а інший – розмах переміщення за циклічних навантажень.

Клему закріплюють у захвати установки і статично навантажують до необхідного рівня  $P_{st} = (P_{\max} - P_{\min})/2$ , фіксуючи при цьому початкове вертикальне переміщення її головки. Після цього задають розмах навантаження  $P_{\max} - P_{\min} = 2$  kN, що відповідає розмаху переміщення 1,1 mm. Випробовувати можна з частотою навантаження до 10 Hz. За великих навантажень періодично контролюють геометричні розміри клем, щоб виявити можливу залишкову пластичну деформацію, яка неприпустима в експлуатації. Випробовують клеми до повного руйнування або до заданої бази на ці деталі –  $5 \cdot 10^6$  циклів. За результатами випробувань будують криву втоми (рис. 5) клем, виготовлених з конкретних матеріалів за відповідною технологією, на підставі якої роблять висновки про роботоздатність і надійність досліджуваних клем, згідно з нормативними документами [16, 17].

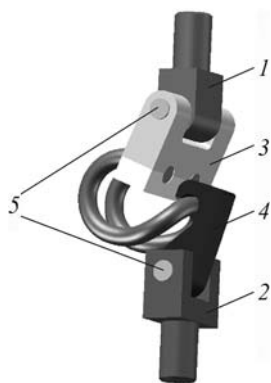


Рис. 4. Fig. 4.

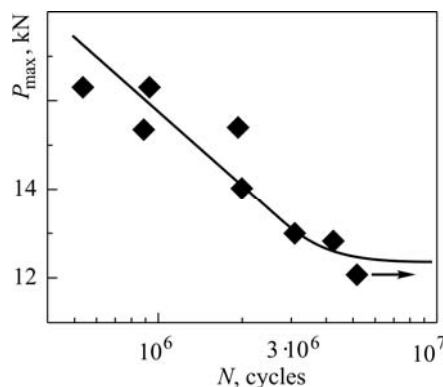


Рис. 5. Fig. 5.

Рис. 4. Схема кріплення клеми за циклічних випробувань: 1, 2 – верхній і нижній захвати; 3 – роз'ємний фіксатор клеми; 4 – навантажувальний гак; 5 – пальці.

Fig. 4. Scheme for clams fixing under cyclic tests: 1, 2 – upper and lower grips; 3 – split-design clamp locking device; 4 – loading hook; 5 – fingers.

Рис. 5. Крива втоми пружних клем, виготовлених зі сталі 60C2.

Fig. 5. Fatigue curve of elastic clamps made of 60C2 steel.

## ВИСНОВКИ

Встановлено силу клемного притиску рейкового скріплення КПП-5 за монтажного стану та її зміну під час проходження вантажного потягу. На основі цьо-

го розроблено методику випробування на витривалість пружних клем рейкового скріплення типу КПП-5.

*РЕЗЮМЕ.* По результатам наблюдения участка железнодорожного пути определено силу прижима рельсового скрепления КПП-5 в состоянии после монтажа и ее изменение при прохождении грузового поезда. Разработана методика испытания на выносливость упругих клемм такого скрепления и построена кривая усталости для клемм, изготовленных из стали 60С2.

*SUMMARY.* As a result of the railway track section observation the values of КПП-5 type rail fastener compression force in the mounting status and its change during the freight train movement are estimated. The method of the endurance testing of the fasteners elastic clamps is developed and on its basis the fatigue curve for 60С2steel clamps is plotted.

1. Державний комітет статистики України. – URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/tz/vp/vp\\_u/vp0912\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/tz/vp/vp_u/vp0912_u.htm)
2. Зайцева К. В., Божок А. Р. Огляд сучасного стану вантажних і пасажирських перевезень залізничним транспортом України // Прометей. – 2011. – № 3. – С. 41–44.
3. Петренко Е. А. Динамика перевозок на железнодорожном транспорте Украины // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 6. – С. 53–56.
4. Будівництво та реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної спроможності та запровадження швидкісного руху поїздів / М. Д. Костюк, В. В. Козак, В. О. Яковлев та ін. – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2010. – 216 с.
5. Верхній будові колії – сучасні конструкції та технології / М. Д. Костюк, Е. І. Даниленко, С. Д. Тараненко, Я. І. Микитін // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 3. – С. 36–38.
6. ЦП-0138. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. – К.: Транспорт України, 2006. – 336 с.
7. Говоруха В. В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рейсовых скреплений. – Днепропетровск: “Лири ЛТД”, 2005. – 388 с.
8. Даниленко Е. І., Твердомед В. Д., Бойко В. Д. Поздовжня стійкість сучасних конструкцій верхньої будови колії // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2011. – № 26. – С. 129–133.
9. Грибовська В. І. Аналіз експлуатаційних недоліків та розробка сучасних проміжних рейкових скріплень // Матеріали ХІХ наук.-техн. конф. мол. наук. “Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи”. – Львів: ФМІ НАН України, 2005. – С. 88–93.
10. News, views and contacts from the global Railway industry. – URL: <http://www.railway-technology.com/contractors/rail/>
11. Judge T. Rail fastening of North American companies // Railway Track & Structures. – 2008. – № 6. – Р. 45–53.
12. Стагл Дж. Рельсовые скрепления и их компоненты // Железные дороги мира. – 2005. – № 5. – С. 73–76.
13. ЦП-0104. Інструкція з укладання та утримання рейкової колії з рейками типу Р65, УС-60 і пружним проміжним скріпленням типу КПП-5 та високоміцними ізолюючими стиками. – К.: Транспорт України, 2003. – 52 с.
14. Малые детали, с которых начинается большая надежность // Евразия Вести. – 2008. – № 2. – С. 21.
15. Патент України № 49768А. Рейкове скріплення / В. В. Говоруха, М. Д. Костюк. – Опубл. 16.09.2002; Бюл. № 9.
16. Яковлев В. О. Практичні рекомендації щодо проведення вхідного контролю якості матеріалів верхньої будови колії. – Дніпропетровськ: ДНУ ЗТ ім. В. Лазаряна, 2003. – 194 с.
17. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е. І. Даниленко, В. В. Рибків. – К.: Транспорт України, 2005. – 119 с.
18. Повышение надежности работы безболтового рельсового скрепления / В. И. Инютин, В. Е. Мирошников, В. Е. Мирошников, Д. В. Пищик // Тез. доп. 69-ої Міжн. наук.-практ. конф. “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”. – Дніпропетровськ, 2009. – С. 143–145.
19. Даренський О. М., Сося П. П. Особливості роботи проміжного скріплення КПП-5 під дією просторових сил // Зб. наук. праць УкрДАЗД. – 2011. – Вип. 126. – С. 252–257.

Одержано 11.12.2012