

УДК 625.143.5

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.169.2017.110879>

### **ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕННЯ ВУЗЛА РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЗДОВЖНЬОЇ СТІЙКОСТІ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ**

Канд. техн. наук В. М. Твердомед, старші викладачі С. Л. Карпінський, О. О. Сорока

### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕНИЯ УЗЛА РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ**

Канд. техн. наук В. М. Твердомед,  
старшие преподаватели С. Л. Карпинский, О. А. Сорока

### **INFLUENCE CONSTRUCTIONAL APPEARANCE ASSEMBLY OF RAIL FASTENING LONGITUDINAL STABILITY OF LONG-WELDED RAILS**

Ph.d. tehn. V. M. Tverdomed, S.L. Karpinskyi, O. O. Soroka

*У статті проведено теоретичні розрахунки поздовжніх сил уgonу, на основі яких побудовано графіки залежності їх значень від експлуатаційних умов, режимів ведення поїзда та конструкції верхньої будови колії. Аналіз проведених розрахунків дає змогу встановити вплив конструктивного оформлення вузла на забезпечення поздовжньої стійкості безстикової колії. Запропоновано методуку проведення експериментальних досліджень для визначення та перевірки поздовжньої жорсткості проміжних рейкових скріплень і погонного опору поздовжнім переміщенням рейки залежно від типу і конструктивного оформлення вузла.*

**Ключові слова:** безстикова колія, рейкові скріплення, поздовжня стійкість, сили уgonу, умови експлуатації.

*В статье проведены теоретические расчеты продольных сил угона, на основе которых построены графики зависимости их значений от эксплуатационных условий, режимов ведения поезда и конструкции верхнего строения пути. Анализ проведенных расчетов позволяет установить влияние конструктивного оформления узла на обеспечение продольной устойчивости бесстыкового пути. Предложена методика проведения экспериментальных исследований для определения и проверки продольной жесткости*

промежуточных рельсовых скреплений и погонного сопротивления продольным перемещением рельса в зависимости от типа и конструктивного оформления узла.

**Ключевые слова:** бесстыковой путь, рельсовые скрепления, продольная устойчивость, силы угона, условия эксплуатации.

**Abstract:** Long-welded rails are the main construction of railway. For ensuring longitudinal stability of rails it is necessary to acting forces on rail string cannot exceed the resisting strength which are provided by rail fastening. The nature and meaning of track's force displacement are: longitudinal force from elastic bending of rail; even braking force, even longitudinal temperature force.

Displacement's of a track effect considering the addition for design model beam which laying on the solid and elastic base which deformable in vertical plane and not deformable in horizontal plane. Even braking force depends on the aspect of braking: service brake application, emergency brake application, regenerative braking. By temperature change of rail string in the temperature of their fixation longitudinal temperature forces is caused. The results of theoretical estimations performed on the basis of a diagrams of relationship between track's force displacement and operating condition, regimes of train handling, construction of permanent way. The proposed methodology by pursuance of experimental research for finding and testing for longitudinal hardness of rail fastening and resistance per unit length longitudinal travel according as type design pattern of fastening's assembly.

**Key words:** long-welded rails, rail fastenings, longitudinal stability, track's force displacement, operating condition.

**Вступ.** На залізницях України безстыкова колія є найбільш прогресивною і головною конструкцією колії [1, 2]. Основними напрямками подальшого підвищення ефективності безстыкової колії є збільшення довжини рейкових плітей, розширення полігону укладання безстыкової колії, подальше вдосконалення проміжних і стыкових скріплень, повторне використання старопридатних рейкових плітей без порушення їхньої цілісності. Переваги безстыкової колії роблять її основною конструкцією залізничної колії, незалежно від розмірів вантажонапруженості. Надійність залізничної колії в основному залежить від надійності роботи вузла проміжного рейкового скріплення для забезпечення безперебійності та безпеки руху поїздів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одними з основних завдань розрахунків колії на стійкість є [1, 3, 4, 5]: визначення поздовжньої стійкості колії при впливі на неї поїзного навантаження і температурних сил; визначення

температурних сил, які з'являються в рейкових плітях при змінах температурного режиму, визначення “критичних” станів рейкових плітей, за межами яких може відбуватись втрата стійкості колії.

Застосування температурно-напруженої конструкції безстыкової колії [5, 6, 9, 10] призводить до утворення великих поздовжніх температурних сил при зміні температури рейок відносно температури закріплення, які мають основний вплив на поздовжню стійкість колії. Умова забезпечення поздовжньої стійкості особливо важлива на безстыковій конструкції колії. Тому для даної конструкції колії до конструктивного оформлення вузла рейкового скріплення висуваються більш суворі вимоги [7, 8].

При виборі конструктивного оформлення вузла проміжного рейкового скріплення [1] в першу чергу необхідно знати величини діючих сил уgonу при заданих умовах експлуатації. Залежно від того, наскільки точно можуть бути визначені сили уgonу в рейкових плітях

безстикової колії та поздовжній опір переміщенню рейки, залежить точність визначення її стійкості, тобто точність визначення параметрів, що забезпечують безпеку руху поїздів.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою статті є аналіз забезпечення поздовжньої стійкості безстикової колії з різними конструкціями рейкових скріплень у поздовжній площині залежно від експлуатаційних умов, режимів ведення поїзда та конструкції верхньої будови колії. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- встановлення сил, що діють на рейку в поздовжньому напрямку;
- розрахунок значень поздовжніх сил уgonу, які діють на рейку;
- побудова графіків залежності поздовжніх сил уgonу від експлуатаційних умов, режимів ведення поїзда та конструкції верхньої будови колії;
- встановлення забезпечення поздовжньої стійкості рейкових плітей безстикової колії залежно від конструктивного оформлення вузла рейкового скріплення.

Також поставлено завдання розробити методику виконання експериментального

дослідження безпосередньо в колії поздовжньої жорсткості проміжних рейкових скріплень і погонного опору поздовжнім переміщенням рейки залежно від типу і конструктивного оформлення вузла.

**Основна частина дослідження.** Для забезпечення поздовжньої стійкості верхньої будови колії згідно з методиками [1, 2] необхідно виконання таких умов: 1) діючі на рейкову пліть поздовжні сили не повинні перевищувати сили опору переміщенню шпал у баласті; 2) ті самі сили не повинні перевищувати сили опору, що забезпечуються рейковими скріпленнями. Тобто поздовжня стійкість колії буде забезпечена, якщо не буде відбуватися спільне поздовжнє переміщення рейок з опорами і не буде мати місце поздовжнє проковзування підшви рейки по опорах.

Перша умова (поздовжня стійкість рейко-шпальної решітки) буде забезпечена в тому випадку, якщо пружна поздовжня реакція кожної опори не буде перевищувати допустимого опору переміщенню цієї опори вздовж колії, тобто повинна виконуватись нерівність

$$\max \left( p_{32}^{np} + p_{гальм}^{cp} \right) \cdot l_{ш} + p_t^{роз} \cdot l_{ш} \leq \frac{[W_0^{np}]}{K_3}, \quad (1)$$

де  $p_{32}^{np}$  – погонна поздовжня сила від пружного згину рейки, кН/м;

$p_{гальм}^{cp}$  – розподілена гальмівна сила, яка передається від коліс рухомого потяга на рейкову нитку, кН/м;

$l_{ш}$  – відстань між осями шпал (ширина  $l$ -го шпального прогону), м;

$p_t^{роз}$  – розподілена поздовжня температурна сила, що діє на рейку (при ланковій колії) або на рейкову пліть (при безстиковій колії), кН/м;

$[W_0^{np}]$  – допустимий опір переміщенню шпали вздовж колії (віднесений до однієї рейкової нитки), кН;

$K_3$  – коефіцієнт запасу на поздовжню стійкість (приймається  $K_3=1,15$ ).

Величини допустимого опору переміщенню незавантаженої шпали вздовж колії  $[W_0^{np}]$  віднесені до однієї рейкової нитки.

Друга умова (поздовжня стійкість рейкової колії) буде виконуватись в тому випадку, якщо сумарні поздовжні сили уgonу рейки (разом з температурними

поздовжніми силами) не будуть перевищувати сили опору поздовжньому

переміщенню, яка забезпечуються рейковими скріпленнями:

$$\sum p_{\text{угон+темн}} = \max(p_{\text{зг}}^{\text{np}} + p_{\text{гальм}}^{\text{cp}}) + p_t^{\text{роз}} \leq \left[ r_{\text{скр}}^{\text{пог}} \right] + \frac{2 \cdot R_n}{K_3 \cdot l_{\text{он}}}, \quad (2)$$

де  $\left[ r_{\text{скр}}^{\text{пог}} \right] = \frac{r}{K_3}$  – допустимий погонний опір рейкової нитки, що забезпечується скріпленням, кН/м.

Величина  $r$  – розрахунковий погонний опір поздовжньому переміщенню підшви рейки по основі [3, 4].

Отримані результати розрахунку дають змогу побудувати графіки залежності поздовжніх сил угону від експлуатаційних умов, режимів ведення поїзда та конструкції верхньої будови колії (рис. 1-3).

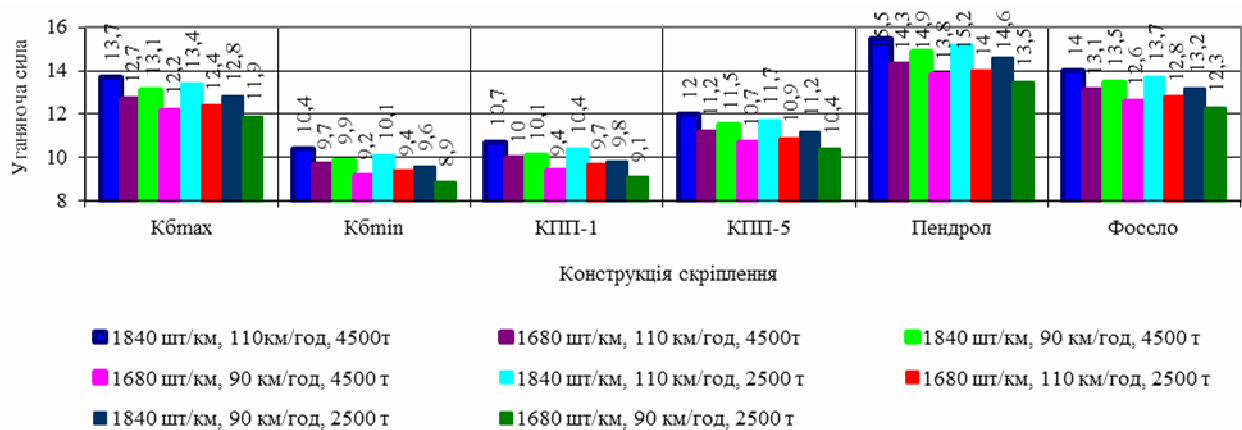


Рис. 1. Графіки значень діючих сил угону при службовому гальмуванні вантажного поїзда

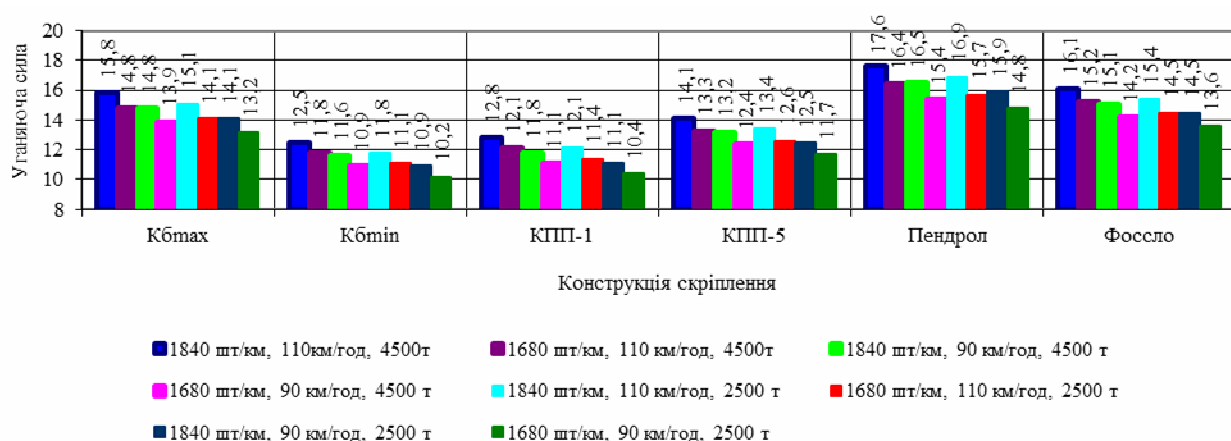


Рис. 2. Графіки значень діючих сил угону при екстреному гальмуванні вантажного поїзда

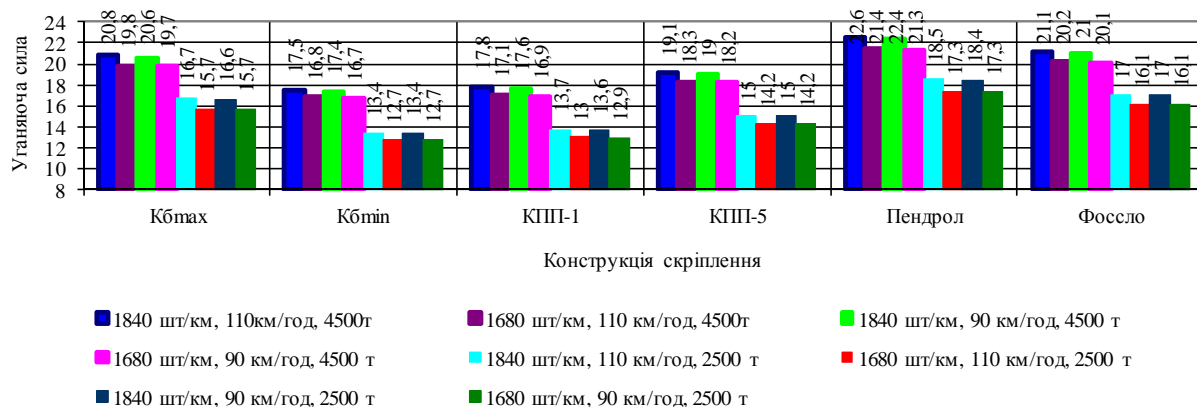


Рис. 3. Графіки значень діючих сил уgonу при рекуперативному гальмуванні вантажного поїзда

На основі проведених розрахунків можна встановити процентне співвідношення сил уgonу, які формують величину

сумарної поздовжньої сили уgonу при русі вантажного поїзда вагою 4500 т із швидкістю 90 км/год (рис. 4).

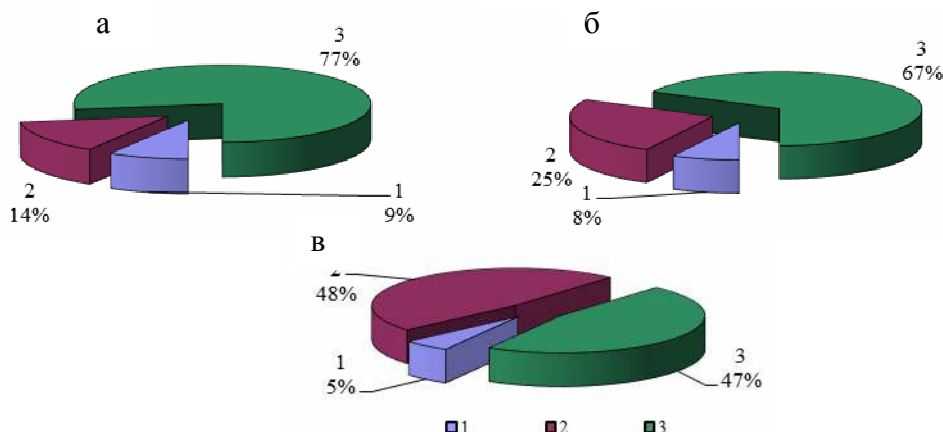


Рис. 4. Співвідношення формуючих сумарну поздовжню силу уgonу при безпідкладковій конструкції колії з рейковими скріпленнями КПП-5 та епюрою укладання шпал 1840 шт./км: а – при службовому гальмуванні; б – при екстремному гальмуванні; в – при рекуперативному гальмуванні; 1 – сила від пружного вигину рейки; 2 – гальмівна сила; 3 – температурна сила

Поздовжня сила уgonу від пружного вигину рейки має незначний вплив на формування величини сумарної поздовжньої сили та в процентному співвідношенні знаходиться в межах 5-9 %.

Поздовжні гальмівні сили більшою мірою впливають на формування величини сумарної поздовжньої сили уgonу та залежать від маси рухомого екіпажа і швидкості руху. Процентне співвідношення гальмівної сили від сумарної поздовжньої

сили уgonу залежить від режиму ведення поїзда та досягає найбільшого співвідношення – 48 % – при рекуперативному гальмуванні. При русі вантажного поїзда зі швидкостями 110 км/год, 90 км/год та масою 4500 т на спуск з крутим ухилом при застосуванні рекуперативного гальмування втрачається поздовжня стійкість рейкової колії при різній конструкції колії з епюрами укладання шпал 1840 шт./км, 1680 шт./км.

Найбільший вплив на формування величини сумарної поздовжньої сили уgonу має поздовжня температурна сила, яка є функцією від величини інтервалу зміни температури пліті відносно температури закріплення та поздовжньої жорсткості вузла рейкового скріплення  $P_t = f(\Delta t, C_{yz})$ .

У процесі експлуатації елементи проміжного рейкового скріплення зазнають

постійного динамічного навантаження, у процесі чого виникають залишкові деформації. Для встановлення забезпечення поздовжньої стійкості рейкових плітей безстикової колії в процесі експлуатації на кафедрі ЗККГ була розроблена методика для проведення експериментальних досліджень безпосередньо на діючих ділянках залізничної колії при різних умовах експлуатації (рис. 5).

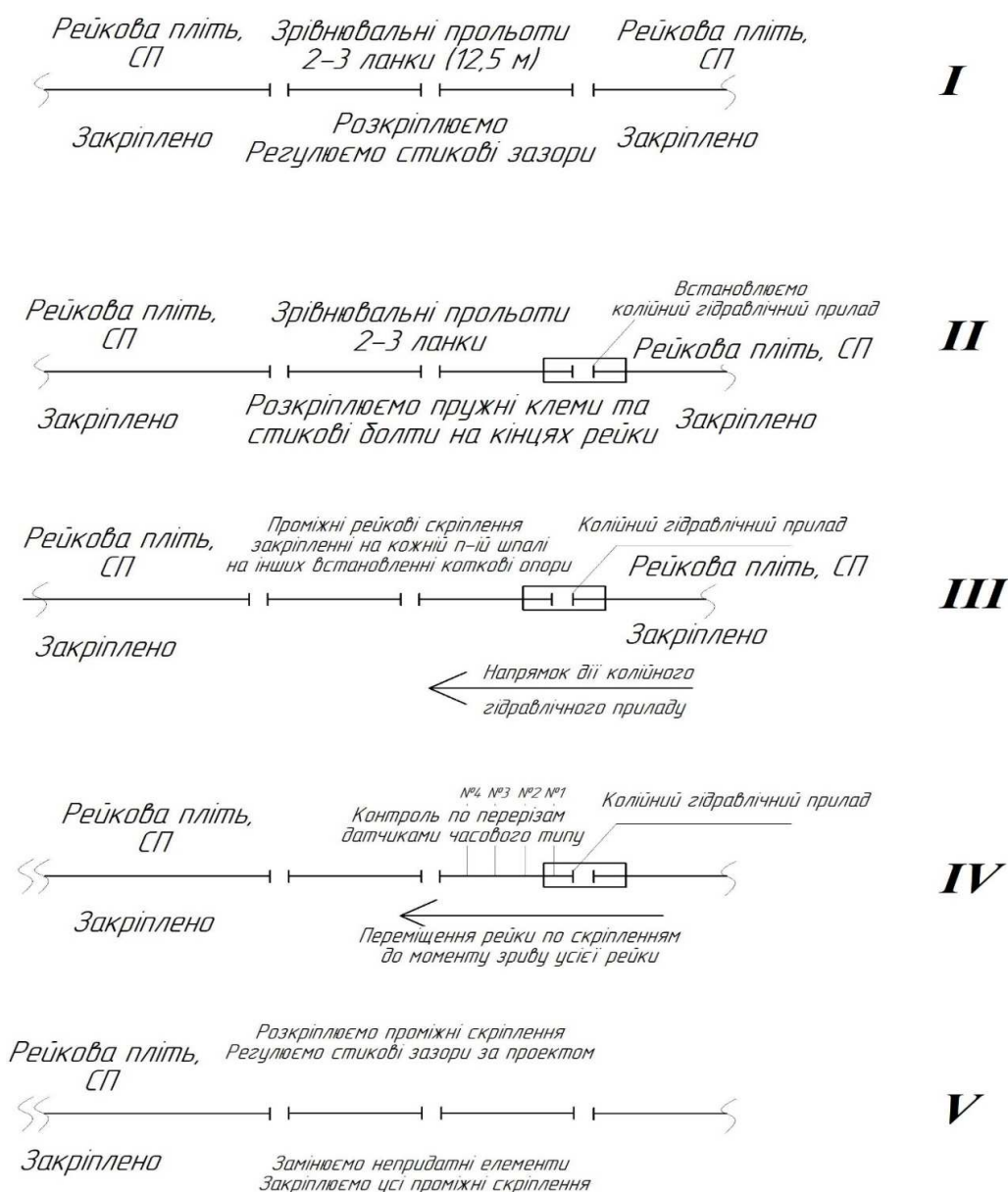


Рис. 5. Порядок виконання експериментального дослідження поздовжньої жорсткості проміжних рейкових скріплень

Для виключення впливу температурних зусиль, що виникають у рейках при зміні температури, експериментальні дослідження необхідно виконувати при температурі, яка відрізняється від температури закріплення рейкових плітей не більш ніж на 5 °С.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Аналіз порівняння характеристик дозволяє зробити такі висновки:

– поздовжня стійкість рейкової колії при безпідкладковій конструкції колії при русі вантажного поїзда масою 4500 т із швидкістю руху 90 км/год та різних режимах гальмування в цілому має більшу на 5 % забезпеченість порівняно з підкладковою конструкцією колії;

– величина погонного опору рейкових ниток при зміні епюри шпал з 1840 до 1680 шт./км зменшується при всіх видах скріплення приблизно на 8-9 %;

– сумарні діючі поздовжні сили уgonу рейкових ниток (температурні від вигину і гальмування) при службовому та екстремому гальмуванні пасажирських і вантажних поїздів вантажного поїзда

масою 2500÷4500 т не перевищують сил погонного опору, що забезпечуються скріпленнями при всіх конструкціях колії, які розглянуті в розрахунках. Поздовжня стійкість рейкової колії може бути втрачена при підкладковій конструкції рейкової колії зі скріпленням КБ з середнім зусиллям затискання клем і безпідкладковій конструкції колії зі скріпленням КПП-1 при русі пасажирського поїзда масою 1600 т із швидкістю руху 160 км/год при екстремому гальмуванні;

– пружна поздовжня реакція кожної опори, яка виникає при підкладковій і безпідкладковій конструкції рейкової колії при експлуатації вантажного та пасажирського поїзда для всіх розглянутих конструкціях рейкового скріплення з епюрами укладання шпал 1840 і 1680 шт./км значно менша від допустимого опору переміщення шпали вздовж колії;

– найгірші умови для рейкових ниток за діючими поздовжніми силами уgonу створюються в екстремальних умовах при спільній дії вигину рейок від колісного навантаження, температурних сил і рекуперативного гальмування.

### *Список використаних джерел*

1. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: підруч. для вищ. навч. закл. – у 2-х т. – К.: Інпрес, 2010.
2. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України (ЦП/0266) [Текст]. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 107 с.
3. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
4. Дослідження поздовжньої стійкості колії на залізобетонних шпалах при різних типах скріплення [Текст]: звіт про НДР кафедри РЕЗіС КУЕТТ / за ред. проф. Е.І. Даніленко). – № держ. реєстрації 0104U002380. – К., 2003. – 83 с.
5. Бесстыковой путь [Текст] / под ред. В.Г. Альбрехта, Е.М. Бромберга. – М.: Транспорт, 1982. – 206 с.
6. Альбрехт, В. Г. Угон железнодорожного пути и борьба с ним [Текст] / В.Г. Альбрехт, А.Я. Коган. – М.: Транспорт; ВНИИЖТ, 1996. – 160 с.
7. Твердомед, В. М. Вплив поперечних та поздовжніх сил горизонтальних сил на роботу без підкладкової та підкладкової конструкції рейкової колії [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.06 – Залізнична колія / В.М. Твердомед. – К.: ДЕТУТ, 2010. – 21 с.

8. Просторова жорсткість проміжного скріплення типу КПП-5 [Текст] / О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг, І. Л. Копилов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 144. – С. 113-118.
9. Lim N.-H., Park N.-H., Kang Y.-J. Stability of continuously welded track Computers Strcuts, 2003, 81 (22–23). – P. 2219–2236.
10. Luo Y. A model for predicting the effect of temperature force of continuous welded rail track Proc. Instn Mech. Engrs, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 1999, 213 (F2). – P. 117–124.

---

Твердомед Володимир Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.  
Карпінський Сергій Леонідович, старший викладач кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.  
Сорока Ольга Олексіївна, старший викладач кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Tverdomeed Vladimir Nikolaevich, PhD in Engineering sciences, docent of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.  
Karpinskii Sergei Leonidovich, senior lecturer of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.  
Soroka Olga Alekseevna, senior lecturer of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Стаття прийнята 06.04.2017 р.