

УДК625.032.4

**ДІАГНОСТИКА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ КОЛІЇ
З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ТИПІВ СКРІПЛЕННЯ**

Кандидати техн. наук В. Д. Бойко, Д. О. Потапов, В. О. Демченко, В. М. Молчанов,
асп. О. В. Демченко

**EXPERIMENTAL STUDIES OF TRACK STRENGTH USING DIFFERENT TYPES
OF FASTENING**

Ph.D. tech. V. Boyko, Ph.D. tech. D. Potapov, Ph.D. tech. V. Demchenko,
Ph.D. tech. V. Molchanov, postgraduate O. Demchenko

Анотація. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження горизонтальних поперечних і поздовжніх сил та проведений аналіз поздовжньої та поперечної стійкості колії можуть бути використані при розрахунках залізничної колії на міцність і стійкість та встановленні сфер застосування залізничної колії зі скріпленнями КПП-5, прогнозуванні ресурсу експлуатації конструкції та розробленні нормативів проведення ремонтно-колійних робіт. Основним завданням експериментальних досліджень було встановлення фактичного

стану елементів проміжних скріплень і залізобетонних шпал, знаходження максимальної сили опору рейки поздовжньому переміщенню, які забезпечуються скріпленнями при різних умовах експлуатації. Виконано експериментальні дослідження пружних характеристик горизонтальних поздовжніх характеристик жорсткості рейкових ниток, дослідження виконувались у різні пори року. Виконані експериментальні дослідження поперечних деформацій рейкових ниток по головці і підшві рейок дали можливість визначити точні характеристики горизонтальної бокової жорсткості рейкових ниток для рейок типу Р65 при скріпленнях різних типів.

Ключові слова: залізнична колія, проміжні рейкові скріплення, угон колії, погонний опір поздовжньому зсуву, сили угону, температурні сили, гальмівні сили, модуль пружності, жорсткість рейкових ниток, поздовжня і поперечна стійкість.

Abstract. *Experimental and theoretical researches of influence of a condition of a profile of a surface of rolling of a wheel pair on level of horizontal cross forces of interaction between elements of a rail track and a rolling stock in operation on the railways of Ukraine are carried out. We have further developed approaches to modeling the effect of different types of fasteners on track stability, as the rigidity of the rail thread is directly related to the design of subrail supports and rail fasteners. The main task of experimental research was to establish the actual state of the elements of intermediate fasteners and reinforced concrete sleepers, finding the maximum resistance of the rail to longitudinal movement, which are provided by fasteners under different operating conditions. Experimental studies of the elastic characteristics of the horizontal longitudinal characteristics of the rigidity of rail threads were performed, the studies were performed at different times of the year. Experimental studies of transverse deformations of rail threads on the head and sole of the rails made it possible to determine the exact characteristics of the horizontal lateral stiffness of rail threads for rails type P65 with different types of fasteners. The main experimental studies were conducted on a seamless track within the main sections of the railway. The elements of the intermediate rail fastening during operation are subjected to constant dynamic impact in the process of which there are residual deformations.*

Based on the obtained data, calculations were performed to determine the horizontal lateral modulus of elasticity of the railway track, to determine the longitudinal and transverse stability of rail threads depending on the type of fastening. The obtained experimental and theoretical results allow to evaluate the force interaction of the rail track with the rolling stock.

Keywords: rail track, stability, wheel pair, horizontal forces, riding surface, speed, self-oscillation, trolley, critical speed.

Вступ. Теоретичні дослідження руху коліс тягового рухомого складу по рейковій колії з вирішенням проблем зменшення бокового зносу гребенів колісних пар та головки рейки є однією із проблем взаємодії колії та коліс рухомого складу. Особливо високий рівень інтенсивного зношування рейкової колії та поверхні катання колісних пар є на залізницях із великою кількістю кривих ділянок колії малого радіуса. Бокові переміщення рейкових ниток залізничної колії прямо пов'язані з боковою жорсткістю і поперечним боковим модулем пружності

кожної конкретної рейкової нитки. Бокова жорсткість рейкової нитки безпосередньо пов'язана з конструкцією підрейкових опор і рейкових скріплень. Процес дослідження ускладнюється через низку причин, пов'язаних з великою кількістю невідомих, складною залежністю моментів, сил.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безпечна та стабільна робота рейкових ниток визначається достатньою їх стійкістю проти поперечних і поздовжніх переміщень [1]. Бокові переміщення рейкових ниток залізничної колії прямо

пов'язані з боковою жорсткістю і поперечним боковим модулем пружності кожної конкретної рейкової нитки. Бокова жорсткість рейкової нитки безпосередньо пов'язана з конструкцією підрейкових опор і рейкових скріплень. Чим більша жорстка підрейкова основа, скріплення – тим менші бокові переміщення рейкових ниток від дії коліс рухомого складу на рейки. Безпосередньо бокові переміщення рейкових ниток можна визначати при випробуваннях конструкції залізничної колії або розрахунковим методом, використовуючи довідкові дані розрахункових характеристик бокової жорсткості рейкових ниток, що надані в довідковій технічній літературі. Але існуючі довідкові дані в технічній літературі [2–4] не відповідають сучасним конструкціям залізничної колії. Крім того, існуючі методи розрахунків або зовсім не передбачають безпосереднє урахування дії на рейки динамічних бокових сил [5], або не дають можливості правильно визначати фактичні значення поперечної бокової жорсткості рейкової нитки і фактичного поперечного модуля пружності рейкової колії в умовах спільної дії на рейки вертикальних і горизонтальних динамічних сил.

Таким чином, урахування вищенаведених вихідних факторів і є **метою даного дослідження**, для досягнення якої потрібно вирішити **такі основні завдання**:

- провести експериментальні випробування горизонтальної бічної жорсткості рейкових ниток із скріпленнями КПП-5, КПП-1, КБ;
- теоретично дослідити зміни горизонтального бічного модуля пружності залізничної колії;
- теоретично визначити поздовжню і поперечну стійкість рейкових ниток;
- експериментально дослідити зміни горизонтальної поздовжньої жорсткості рейкових ниток.

Основна частина. При проведенні експериментальних досліджень пружних характеристик прокладок були визначені

статичні та динамічні жорсткості гумових і гумокордових прокладок при стисненні та бічному зсуві.

Випробування проводилися в лабораторних умовах при статичному та динамічному навантаженні. Прокладки випробовувалися на спеціальному пристрої, який дає змогу проводити дослідження як на дію тільки сил стиску, так і на спільну дію стискальних сил і сил зсуву.

При статичних випробуваннях на стискання навантаження прикладалося безперервно в діапазоні від 0 до 25 кН із постійною швидкістю 0,2 кН/с з наступним повним розвантаженням.

Інтервали динамічного навантаження при випробуваннях прокладок становили 20–40 кН, що відповідає навантаженням на рейкову опору під час руху поїздів. Навантаження фіксувалися на манометрах преса. Випробування проводилися при частотах пульсуючого навантаження від 66 до 660 циклів за хвилину (1,1–11 Гц), що відповідає швидкостям проходження осей чотирирівнісного екіпажа від 7 до 70 км/год з відстанню між осями 1,8 м.

Деформації прокладок вимірялися електричними датчиками переміщень із точністю $\pm 0,03$ мм. Прокладки випробовувалися при температурах 18–22 °С. Отримані значення статистично оброблені за загальноприйнятою методикою з визначенням мінімальних, максимальних, середніх значень і середньоквадратичних відхилень.

Стендові випробування скріплень різних конструкцій на лабораторному обладнанні дали змогу отримати попередні результати значень вертикальної і горизонтальної поперечної жорсткості скріплень в умовах лабораторних навантажень. Фактичні результати жорсткості рейкових ниток у залізничній колії необхідно отримувати в результаті випробувань рейкових ниток з дослідними скріпленнями в експлуатаційних умовах в колії при колісних динамічних навантаженнях від рухомого складу, що експлуатується.

Для отримання достовірних результатів вимірювання проводились у різні періоди року (весна, літо, осінь) на ділянках колії, які експлуатуються на території Південно-Західної залізниці.

Горизонтальне поперечне навантаження на рейку створювалось домкратом шляхом нагнітання тиску в

робочому циліндрі, що фіксувалось манометром, вбудованим у тіло домкрата. Вимірювання проводились без створення вертикального навантаження.

Загальний вигляд розстановки приладів при проведенні досліджень з вимірювання поперечної горизонтальної жорсткості рейкових ниток подано на рис. 1.

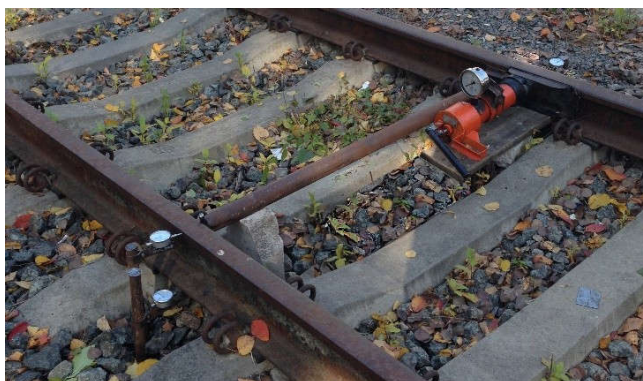


Рис. 1. Загальний вигляд розстановки приладів

Необхідно зазначити, що залежність горизонтальних переміщень головки і підшви рейки від горизонтального навантаження виходить істотно нелінійною, тому що спочатку відбувається вибірка люфтів у деталях кріплення рейки до шпали і тільки на другому етапі відбувається саме бокове переміщення рейкової нитки від дії горизонтальної сили.

Діапазон бокових сил $H = 40, 60, 80$ кН при визначенні бокової жорсткості рейкових ниток розглядався як найбільш реальний діапазон цих сил, що реалізуються при динамічній взаємодії рухомого складу і колії.

Бокові переміщення рейкових ниток прямо пов'язані з боковою жорсткістю і поперечним боковим модулем пружності. Бокова жорсткість безпосередньо пов'язана з конструкцією підрейкових опор і рейкових скріплень. Чим більш жорстка підрейкова основа і чим більш жорсткі рейкові скріплення – тим менші бокові переміщення рейкових ниток реалізуються при дії коліс рухомого складу на рейки.

Виконані експериментальні дослідження поперечних деформацій рейкових ниток по головці і підшві рейок дали можливість визначити точні характеристики горизонтальної бокової жорсткості рейкових ниток для рейок типу Р65 при скріпленнях різних типів.

Характеристики поперечної (бокової) жорсткості рейкових ниток, що отримані при експериментальних дослідженнях, стали необхідним вихідним експериментальним матеріалом для розрахунків з визначення бокової жорсткості і бокового модуля пружності рейкових ниток при спільній дії на рейку вертикальних і горизонтальних сил від рухомого складу.

Основні експериментальні дослідження проводились на безстиківій колії в межах магістральних ділянок залізниці, проведено структурний аналіз територіальних транспортних систем на основі методів класифікації. В процесі експлуатації елементи проміжного рейкового скріплення піддаються постійному динамічному впливу, в процесі чого виникають залишкові деформації [6].

Основним завданням є встановлення фактичного стану елементів проміжних скріплень і залізобетонних шпал, знаходження максимальної сили опору рейки поздовжньому переміщенню, які забезпечуються скріпленнями при різних умовах експлуатації.

Виходячи з поставлених завдань, у даній роботі отримано експериментально-теоретичне рішення задачі з визначення характеристик горизонтальної бокової пружності рейкових ниток при спільній дії вертикальних і горизонтальних колісних навантажень. Отримано фактичні значення поперечного модуля пружності рейкової нитки $U_y^{(T)}$ для різних конструкцій рейкової колії із застосуванням рейок і рейкових скріплень сучасних конструкцій. Дані результати дозволяють виконувати розрахунки на міцність і бокову поперечну стійкість рейкових ниток з урахуванням сумісної дії на колію вертикальних і горизонтальних сил для сучасних конструкцій скріплень на залізобетонних і дерев'яних шпалах зі значно вищою точністю, ніж це дозволяє чинна нині методика практичних інженерних розрахунків колії на міцність.

Для забезпечення поздовжньої стійкості колії необхідно, щоб: 1) діючі на рейкову пліть поздовжні сили не перевищували сил опору переміщенню шпал у баласті; 2) ті самі сили не перевищували сил опору, що забезпечуються рейковими скріпленнями. Тобто поздовжня стійкість колії буде забезпечена, якщо не відбуватиметься спільне поздовжнє переміщення рейок із опорами і не відбуватиметься поздовжнє проковзування підшви рейки по опорах. За вибраною методикою виконано розрахунки та їх порівняння з допустимим погонним опором рейок по підшві, результати лише для одного варіанта досліджень наведено в табл. 1.

Аналіз результатів розрахунків поздовжньої стійкості колії для різних варіантів поєднання характерних

експлуатаційних умов та конструктивних особливостей верхньої будови колії дає можливість стверджувати:

1) для усіх варіантів конструкцій скріплень сумарні розподілені поздовжні сили угону рейкової нитки з урахуванням сумісної дії погонних поздовжніх сил від пружного згину рейки, розподілених поздовжніх температурних сил та розподілених гальмівних сил, які передаються від коліс рухомого поїзда на рейкову нитку при реалізації повного службового гальмування, а також екстреного гальмування, – не перевищують допустимого погонного опору по підшві рейок;

2) особливо несприятливі умови забезпечення поздовжньої стійкості колії спостерігаються при використанні рекуперативного гальмування, зокрема:

- для умов обертання вантажних поїздів масою 4000 т, з 4-вісними вагонами із навантаженнями на вісь 235 кН/вісь при гальмуванні від 90 км/год до 0 км/год; (рейки Р65, залізобетонні шпали, епюра шпал 1840 шт/км, щебенекий баласт) – сумарні розподілені поздовжні сили угону рейкової нитки перевищують допустимий погонний опір по підшві рейок:

- для скріплень типу КПП-1 на 1 %,

- для скріплень типу КБ min на 2 %,

- для інших розрахункових випадків допустимий погонний опір не перевищується;

- для умов обертання вантажних поїздів масою 4000 т, з 4-вісними вагонами із навантаженнями на вісь 220 кН/вісь і локомотивом ВЛ-82м при гальмуванні від 90 км/год до 0 км/год; (рейки Р65, залізобетонні шпали, епюра шпал 1840 шт/км, щебенекий баласт) – сумарні розподілені поздовжні сили угону рейкової нитки перевищують допустимий погонний опір по підшві рейок лише для скріплень типу КБ min на 1 %, а при інших розрахункових випадках допустимий погонний опір не перевищується.

Таблиця 1

Сили угону для вантажного поїзда масою 4000 т, який складається з 4-вісних вагонів із навантаженням на вісь 235 кН/вісь рейки Р65

Характеристики	Скріплення					
	Фоссло SKL-14	Пендрол	КПП-1 СБ-3	КПП-5	КБ max	КБ min
1	2	3	4	5	6	7
Поздовжня горизонтальна жорсткість основи СШ-б, Н/мм	87968	82726,3	84500	89037,8	94198,8	91913,4
Поздовжня жорсткість вузла скріплення Суз, Н/мм	11500	13000	8320	9700	11300	8000
Сумарна поздовжня жорсткість колії, віднесена до одної опори Соп, Н/мм	9116	9891,3	6951	7964,6	9113,5	6813,7
Ux, МПа	16,8	18,3	12,9	14,7	16,9	12,6
Δx, мм	0,09	0,114	0,12	0,097	0,087	0,091
$p_{ур}$, кН/м	1,5	1,9	1,2	1,4	1,5	1,1
$p_{тор}$, при службовому гальмуванні, кН/м	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
$p_{тор}$, при екстремому гальмуванні, кН/м	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
$p_{тор}$, при рекуперативному гальмуванні, кН/м	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
p_i , кН/м	10,6	12,1	7,7	9	10,5	7,4
При службовому гальмуванні Сумарна розрахункова сила угону $\Sigma P_{угон+темп}$ (при сумісній дії усіх поздовжніх сил), кН/м	13,8	15,7	10,6	12,1	13,7	10,2
Те саме при екстремому гальмуванні $\Sigma P_{угон+темп}$, кН/м	15,4	17,3	12,2	13,7	15,3	11,8
Те саме при рекуперативному гальмуванні $\Sigma P_{угон+темп}$, кН/м	18,6	20,5	15,4	16,9	18,5	15
Допустимий погонний опір поздовжньому переміщенню рейкової нитки залежно від типу скріплень (відповідно до ЦП/0117)	21,2	23,9	15,3	17,9	20,8	14,7

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Порівняння розрахункових сил уgonу і погонного опору	13,8<21,2 15,4<21,2 18,6<21,2	15,7<23,9 17,3<23,9 20,5<23,9	0,6<15,3 2<15,3 15,4>15,3	12,1<17,9 13,7<17,9 16,9<17,9	13,7<20,8 15,3<20,8 18,5<20,8	10,2<14,7 11,8<14,7 15>14,7

Дослідження проводились на експериментальних ділянках, що мають різні конструктивні характеристики та різні експлуатаційні умови, тому доцільно поділити та згрупувати отримані результати за відповідними ознаками.

У першу чергу отримані результати групуються для різних конструкцій

проміжних скріплень. Для кожної групи виконуємо сортування за зростанням пропущеного тоннажу і відповідними значеннями погонного опору поздовжньому зсуву рейкових ниток, що подано в табл. 2. Результати отриманих залежностей зображено у вигляді стовпчастих діаграм.

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень погонного опору поздовжньому зсуву рейкових ниток при скріпленні типу КБ

№ ділянки	Перегін, колія, км ПК	Пропущений тоннаж, млн т. Вантажонапруженість, млн т км брунто/ км за рік	Тип скріплення, % непридатного	Шпали, % непридатних	Параметри проведення випробування		
					Утримуюча поздовжня сила на 1 скріплення, кН/скр	Епюра шпал шп/км	Погонний опір поздовжньому зсуву, що забезпечується скріпленнями, кН/м
1	Могиляни – Кривин парна колія 188 пк 5/6	$\frac{293}{28,8}$	КБ, 9 %	з/б, 0 %	13,8	1840	25,4
2	Київ-Петрівка – Київ-Дніпр. Парна колія 13 пк 4/5	$\frac{316}{24,3}$	КБ, 9%	з/б, без видимих дефектів, 0 %	14,2	1840	26,1
3	Сестринівка- Козятин-1 Непарна колія 1008 пк 4/5	$\frac{342}{66,7}$	КБ 9%	з/б, 0 %	12,3	1840	22,7
4	Рокитне – Сухоліси Непарна колія 54 пк 5-6	$\frac{425}{54,3}$	КБ, 20%	з/б, з дефектами, 5 %	12,5	1840	23
5	Шепетівка – Цвітоха Непарна 152 пк 3/4	$\frac{488}{62,9}$	КБ, 12%	з/б, 0 %	12,0	1840	22,1

Відповідно для ділянок з різними рівнями вантажнапруженості були окремо побудовані залежності погонного опору поздовжньому зсуву рейкових ниток у вигляді стовпчастих діаграм (рис. 2), наведено результати досліджень лише для скріплень КБ.

При оцінюванні працездатності скріплень при їх роботі на утримання рейкових ниток у поздовжньому напрямку, відповідно, й забезпечення поздовжньої стійкості безстикових плітей виникає питання впливу кількості включених в роботу проміжних рейкових скріплень на величину сили опору поздовжньому зсуву та залежності погонного опору від зміни сили притискання рейки до підрейкової основи.

Відповідно при виконанні експериментальних досліджень по довжині рейкових ниток, до яких прикладалось поздовжнє зусилля, залишалась різна кількість працездатних скріплень, що дало можливість зіставити залежності сил опору від кількості прикріплювачів.

Для можливості виконання сумісного аналізу з урахуванням розподілу за рівнем вантажнапруженості та пропущеним тоннажем отримані масиви експериментальних даних відповідним

чином згруповано і подано на рис. 3. Для кожної групи даних щодо вантажнапруженості після відповідної статистичної обробки з використанням регресійного аналізу було отримано лінії тренду та відповідні функціональні залежності погонного опору поздовжньому зсуву рейкових ниток від пропущеного тоннажу. Наведені залежності для скріплень дають змогу зіставити експериментальні залежності погонного опору поздовжньому зсуву рейкових ниток від пропущеного тоннажу з мінімально допустимими значеннями для відповідних типів скріплень.

За отриманими даними було побудовано залежності поздовжніх утримуючих сил від кількості включених у роботу проміжних рейкових скріплень (рис. 4) для різних дослідних ділянок, які відрізняються експлуатаційними умовами та конструктивними особливостями колії. Аналіз проводився для масивів даних, отриманих у кожному окремому експерименті. Шляхом регресійного аналізу методом найменших квадратів було встановлено, що найбільшу точність інтерполяції дає лінійна залежність, при якій коефіцієнт кореляції $R > 0,9$ відповідає високій збіжності.

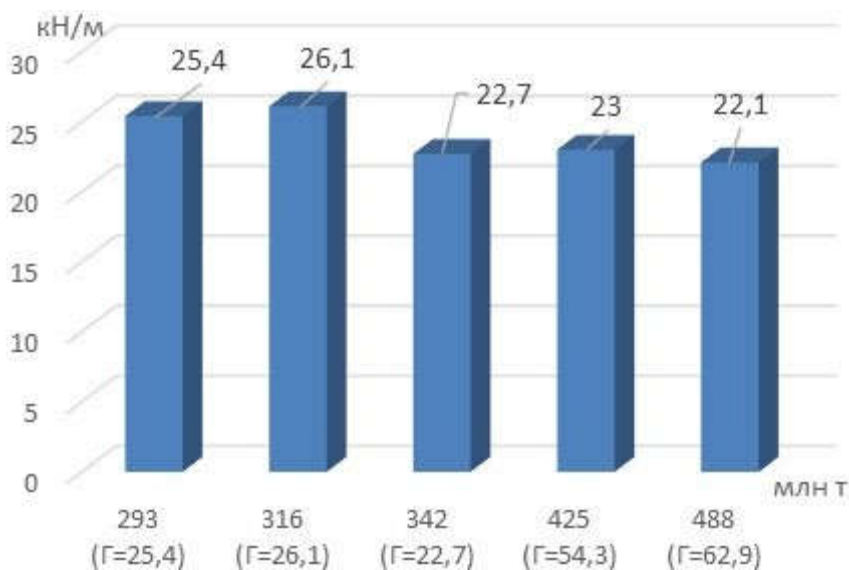


Рис. 2. Графік залежності погонного опору поздовжньому зсуву рейкових ниток від вантажнапруженості і пропущеного тоннажу при скріпленні типу КБ

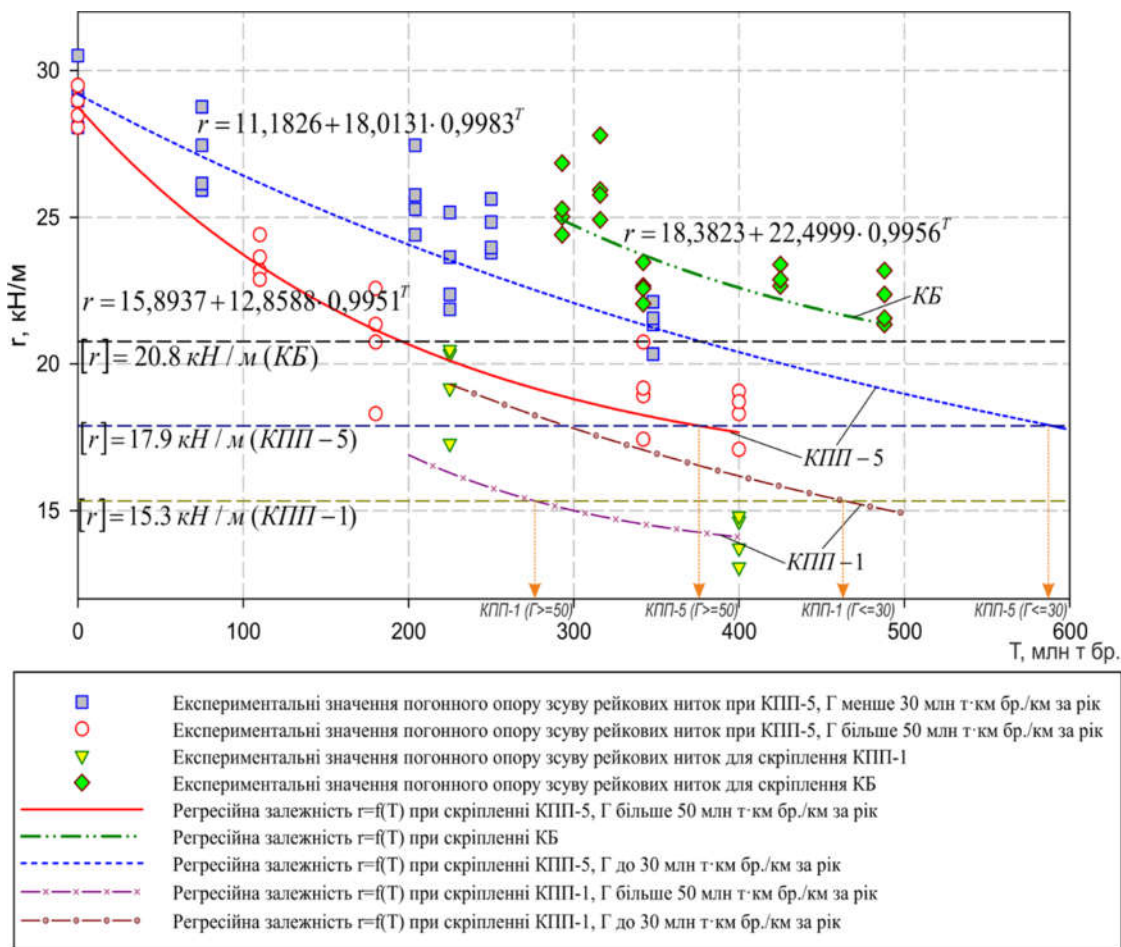


Рис. 3. Графік залежності погонного опору поздовжньому зсуву рейкових ниток від пропущеного тоннажу

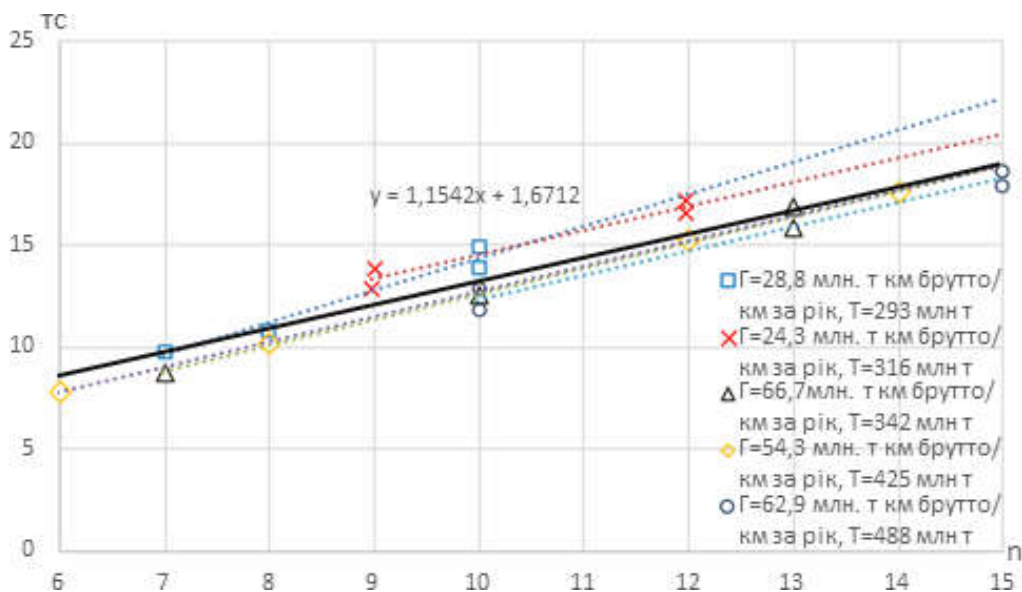


Рис. 4. Залежність поздовжніх утримуючих сил від кількості включених у роботу оміжних рейкових скріплень типу КБ

Для ділянок колії з однаковими умовами експлуатації та конструктивними характеристиками спостерігається практично лінійна залежність поздовжніх утримуючих сил від кількості включених у роботу проміжних рейкових скріплень, тому отримані результати можна екстраполювати для оцінки роботи безстиківих рейкових плітей у цілому без урахування поправок на нелінійність розподілу поздовжніх сил опору по довжині пліті.

Висновки. За результатами виконаної роботи щодо поздовжньої стійкості та поздовжніх утримуючих сил встановлено,

що проміжні скріплення типу КПП-5 на початковому періоді експлуатації забезпечують надійне притискання рейкової нитки до підрейкових опор, нічим не поступаючись жорстким скріпленням типу КБ, та забезпечують погонний опір поздовжнім переміщенням рейок близько $r = 29$ кН/м. У подальшому в процесі експлуатації виявлено поступове зниження погонного опору поздовжнім переміщенням залежно від пропущеного тоннажу, а також від інтенсивності руху рухомого складу, тобто від вантажонапруженості ділянки.

Список використаних джерел

1. Альбрехт В. Г., Коган А. Я. Угон железнодорожного пути и борьба с ним / Министерство путей сообщения РФ. Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. Москва: Транспорт, 1996. 160 с.
2. Дослідження впливу вантажонапруженості й плану колії на працездатність пружного проміжного скріплення типу КПП-5 та шпали типу СБЗ і розробка рекомендацій щодо їх удосконалення: звіт про науково-дослідну роботу. Дніпро: ДНКТБКГ, 2016. 87 с.
3. Мойсеєнко К. В., Суслов В. М., Татуревич А. А. Обґрунтування необхідності скасування обмеження застосування скріплення типу КПП-5 за критерієм вантажонапруженості. *Залізничний транспорт України: наук.-практ. журнал*. 2017. № 2. С. 55–64.
4. Скріплення проміжні пружні типу КПП-5: ТУ У 35.2-30268559-118:2009. 41 с.
5. Маркуль Р. В. Розробка технології контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України*. Серія «Транспортні системи і технології». Київ: ДЕТУТ, 2015. Вип. 26–27. С.58–68.
6. Slobodyanyuk M., Gorobchenko O. Structural analysis of territorial transport systems based on classification methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 1. No. 4 (103). P. 23–32. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194158> (last access: 02.12.2021).

Бойко Володимир Дмитрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного університету інфраструктури та технологій. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9192-8394>. Тел.+38(097)133-70-64. E-mail: boykovd69@gmail.com.

Потапов Дмитро Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничної колії і транспортних споруд Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID: 0000-0002-7279-4271. Тел. +38(057)730-10-60. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua.

Молчанов Віталій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного університету інфраструктури та технологій. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0272-1277>. Тел. +38(96)597-70-22. E-mail: vitmolch@gmail.com.

Демченко Володимир Олексійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць Державного університету інфраструктури та технологій. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2478-364X>. Тел.: +38(097)287-17-63. E-mail: dem4enko.vo@gmail.com.

Демченко Олексій Володимирович, аспірант кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного університету інфраструктури та технологій. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5344-9301>. тел.: +38(067)888-55-20. E-mail: mr.lyoshyk@gmail.com.

Volodymyr Boyko Ph.D. tech. sciences, Associate Professor of the Department of Railway Track and Track Management of the State University of Infrastructure and Technology. ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-9192-8394>. Тел.+38(097)133-70-64. E-mail:boykovd69@gmail.com.

Dmytro Potapov Ph.D. tech. sciences, Associate Professor of the Department of Railway Tracks and Transport Facilities of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID: 0000-0002-7279-4271. Тел. +38(057)730-10-60. E-mail:ppx_xiit@kart.edu.ua.

Vitaliy Molchanov Ph.D. tech. sciences, Associate Professor of the Department of Railway Track and Track Management of the State University of Infrastructure and Technology. ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-0272-1277>. Тел. +38(96)597-70-22. E-mail:vitmolch@gmail.com.

Volodymyr Demchenko Ph.D. tech. sciences, Associate Professor of Electromechanics and Rolling Stock of the State University of Infrastructure and Technology. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2478-364X>. Тел.: +38(097)287-17-63. E-mail: dem4enko.vo@gmail.com.

Oleksii Demchenko is a postgraduate student of the Department of Railway Track and Track Management of the State University of Infrastructure and Technologies. ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5344-9301>. Тел.: +38(067)888-55-20. E-mail: mr.lyoshyk@gmail.com.

Статтю прийнято 21.10.2021 р.