

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУ ЛІНІЇ НА ВЕЛИЧИНУ ВІДЦЕНТРОВИХ НЕПОГАШЕНИХ СИЛ

Розглядається вплив параметрів кривих на величину відцентрових сил, що викликають розлад і знос колії.

Ключові слова: відцентрова непогашена сила, параметри плану лінії, модернізація колії

Рассматривается влияние параметров кривых на величину центробежных сил, которые вызывают расстройство и износ пути.

Ключевые слова: центробежная непогашенная сила, параметры плана линии, модернизация пути

The influence of parameters of curves on the value of centrifugal forces causing the rail track wear is considered.

Keywords: centrifugal uncompensated force, track line parameters, track modernization

1. Загальні положення. Мета дослідження

Завдання, що поставлені перед залізничним транспортом на період до 2020 року, впливають із схваленої Кабінетом Міністрів України Стратегії [1]. Основними з них є модернізація залізничних ліній за напрямками міжнародних транспортних коридорів; технічне переоснащення об'єктів інфраструктури залізниць; організація руху поїздів за напрямками, орієнтованими переважно на один вид перевезень (пасажирські або вантажні). Зупинимось більш детально на спеціалізації напрямків руху.

Переключення перевезень на паралельні ходи призводить до зміни інтенсивності руху вантажних і пасажирських поїздів, що впливає на напружено-деформований стан колії, а в кінцевому результаті на експлуатаційні витрати, ремонт і утримання колійної інфраструктури.

Загальну дію рухомого складу D , що призводить до зносу колійної інфраструктури, можна представити як сумарну роботу поздовжньої $D_{\text{позд}}$, поперечної $D_{\text{поп}}$ і вертикальної $D_{\text{верт}}$ сил [2, 3], тобто

$$D = \sqrt{D_{\text{позд}}^2 + D_{\text{поп}}^2 + D_{\text{верт}}^2}.$$

Кожна з названих сил визначається як добуток відповідного прискорення $a_{\text{позд}}$, $a_{\text{поп}}$, $a_{\text{верт}}$ на масу рухомого складу, а робота сил – як добуток сили на переміщення у відповідній площині.

2. Непогашена відцентрова сила

В умовах розмежування вантажного й пасажирського руху і підготовки пасажирських ходів до Євро-2012 великого значення набуває плавність руху і комфортабельність їзди.

В результаті розподілення потоків основний ефект полягає в зменшенні непогашених поперечних прискорень, що забезпечує більш високий рівень комфорту пасажирів та зменшення зносу верхньої будови колії і рухомого складу. Зменшення поперечних прискорень підвищує також стабільність положення верхньої будови колії і може призвести до збільшення міжремонтних періодів [3].

Для оцінки ефекту від зменшення розладу і зносу колії був застосований показник – непогашена відцентрова сила. Такий підхід слід вважати обґрунтованим, тому що поперечні сили всіх видів в кривих (направляючі сили, бокові і рамні) залежать від відцентрової сили [4].

Відцентрова сила I , що виникає при проходженні рухомого складу по кривій радіусом R , визначалась за формулою

$$I = \frac{m \cdot V^2}{R} = \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R}, \quad (1)$$

де m – маса одиниці рухомого складу;

G , g – відповідно сила ваги і прискорення вільного падіння.

Сила I притискує екіпаж до зовнішньої рейки, перевантажуючи її і збільшуючи опір руху екіпажу. Крім того, ця сила впливає на самопочуття пасажирів.

При влаштуванні підвищення зовнішньої рейки h з'являється складова сили ваги H , спрямована усередину кривої (рис. 1), яка повністю чи частково врівноважує відцентрову силу.

При нестачі підвищення сила H не зрівноважує I , тоді має місце непогашена відцентрова сила

$$F_H = Q \left(\frac{V^2}{3,6^2 R} - \frac{gh}{S} \right). \quad (2)$$

Надалі робота поперечних сил на колію розглядалась умовно як сума непогашених відцентрових сил упродовж кривої, тобто

$$R_{\text{від}} = \int F_H \cdot \Delta S, \quad (3)$$

де ΔS – крок інтегрування (переміщення поїзда упродовж кривої, прийнято 1 м).

Метою роботи є розробка заходів щодо зменшення відцентрових сил, що діють на колію.

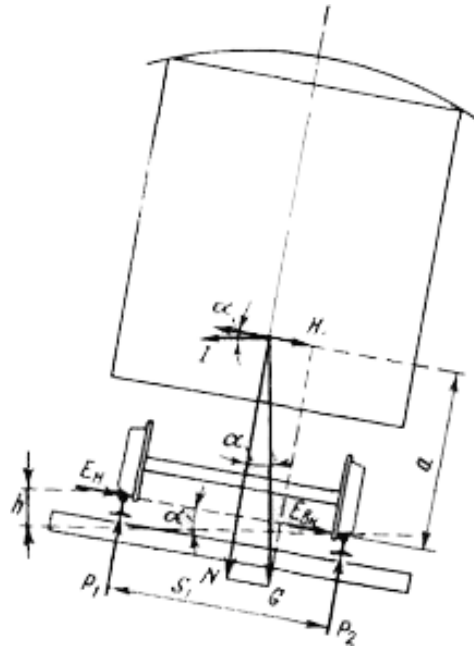


Рис. 1. Схема сил, що діють на екіпаж у кривій

3. Дослідження основних факторів, що впливають на величину непогашених відцентрових сил

Для визначення величини впливу відцентрових сил на колію були виконані розрахунки для ділянок Київ – Коростень, Київ – Козятин, Козятин – Шепетівка і Шепетівка – Коростень, які відрізняються параметрами плану і поздовжнього профілю. На першому етапі розрахунки виконувались для потоку поїздів при існуючо-

му підвищенні зовнішньої рейки в кривих. В якості характеристик плану лінії розглядались сума кутів повороту кривих, віднесених до 1 км α_0 , середній радіус кругових кривих $R_{\text{сер}}$ і середня кривизна (з урахуванням перехідних) $\frac{1}{\rho_{\text{сер}}}$. Розраховані параметри для ділянок, що досліджувались, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові параметри для досліджуваних ділянок

Показники	Вихідні дані для ділянок			
	Київ – Козятин	Коростень – Шепетівка	Козятин – Шепетівка	Київ – Коростень
L , км	160,5	150,9	149,4	50,0
α_0 , град./км	4,12	5,21	7,24	9,12
$R_{\text{сер}}$, м	1524	1402	1310	882
$\frac{1}{\rho_{\text{сер}}}$, м ⁻¹	$468 \cdot 10^{-6}$	$577 \cdot 10^{-6}$	$574 \cdot 10^{-6}$	$725 \cdot 10^{-6}$

За формулою (3) була розрахована робота непогашених відцентрових сил $R_{від}$ для різних мас рухомого складу та існуючого стану колії.

Результати наведені у вигляді гістограм на рис. 2.

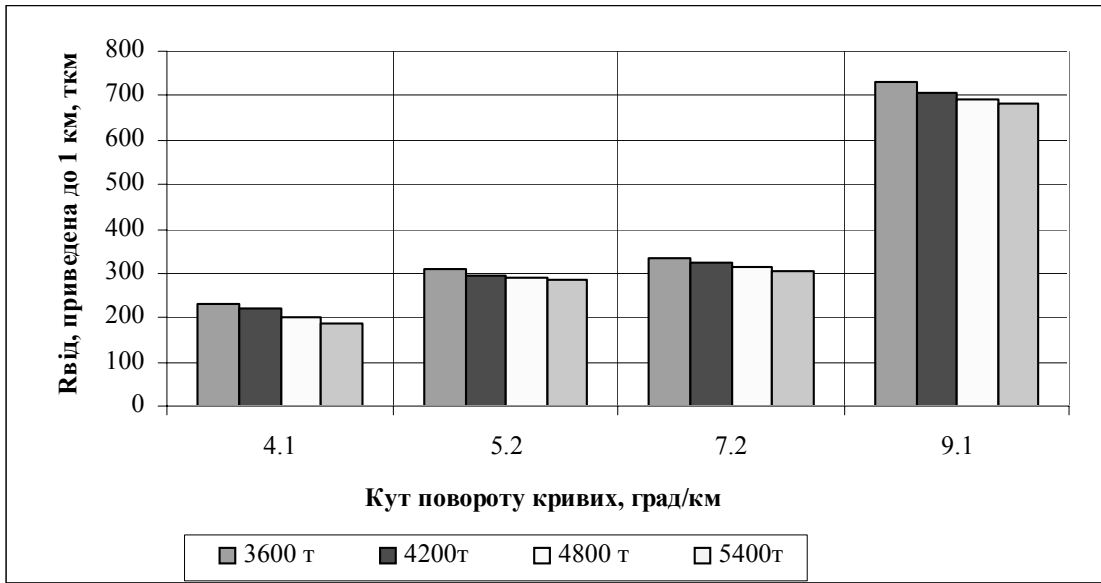


Рис. 2. Сумарна робота непогашених відцентрових сил на досліджуваних ділянках при різній масі поїзда

Аналіз динаміки зміни $R_{від}$ (рис. 2) показав, що при зростанні маси вантажних поїздів зменшується їх загальна кількість і сумарна дія

відцентрових сил на колію також зменшується (рис. 3).

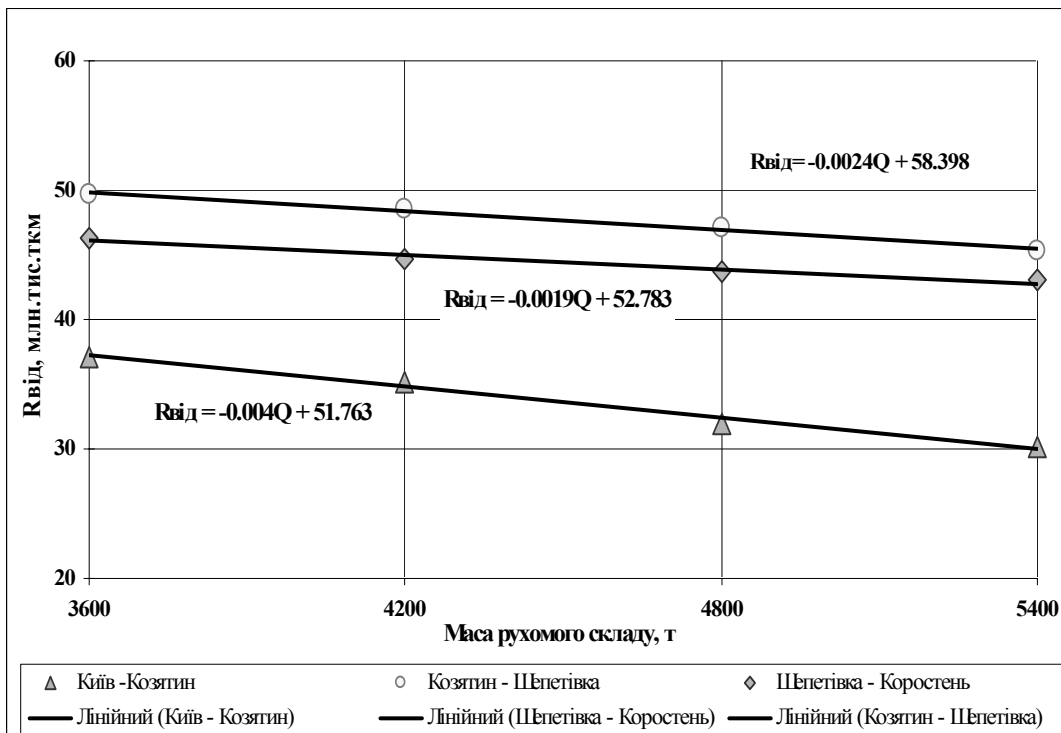


Рис. 3. Сумарна робота непогашених відцентрових сил в кривих

При зростанні вантажнапруженості кількість поїздів збільшується і сумарна дія відцен-

трових сил на колію в кривих може бути описана лінійним законом (рис. 4).

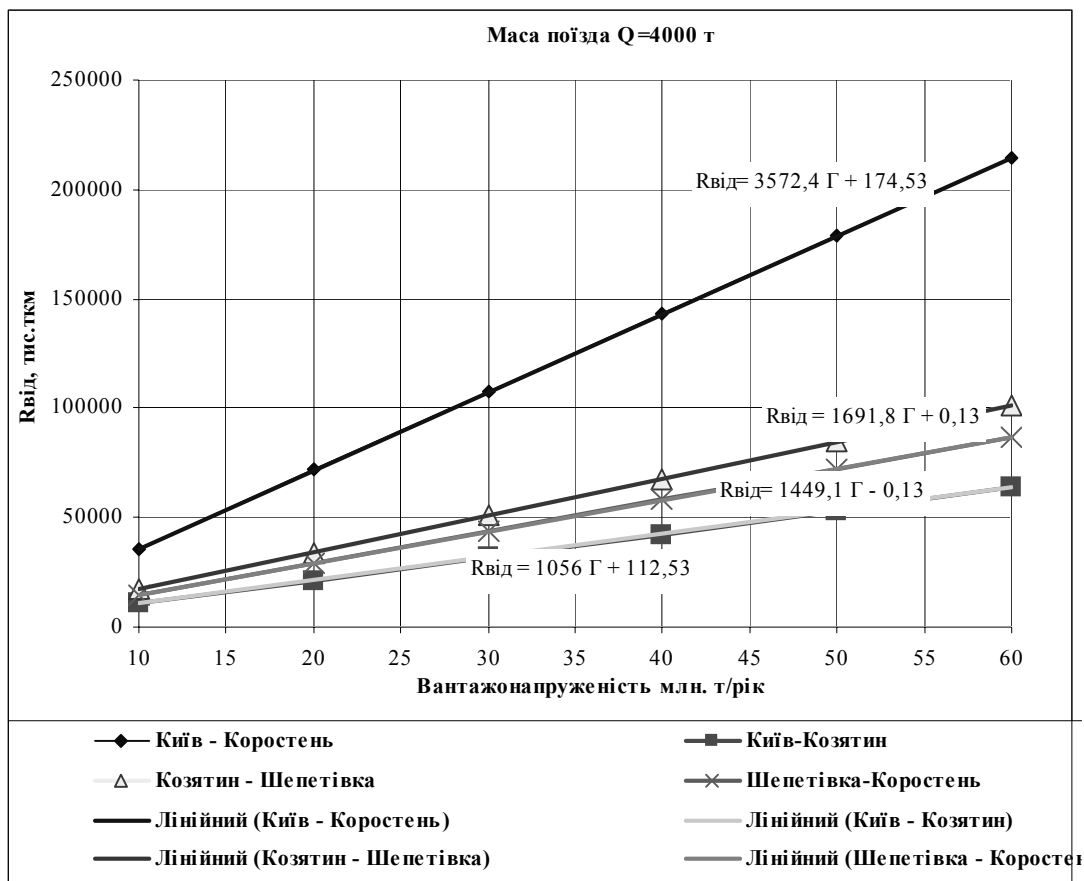


Рис. 4. Сумарна дія відцентрових сил в залежності від вантажопотоку

Аналіз отриманих розрахункових значень показав, що величина непогашених відцентрових сил корелює з параметром α_0 , експоненціальна залежність такого зв'язку наведена на

рис. 5. Експоненціальною залежністю може бути описано зв'язок непогашених відцентрових сил з показником середньої кривизни (рис. 6).

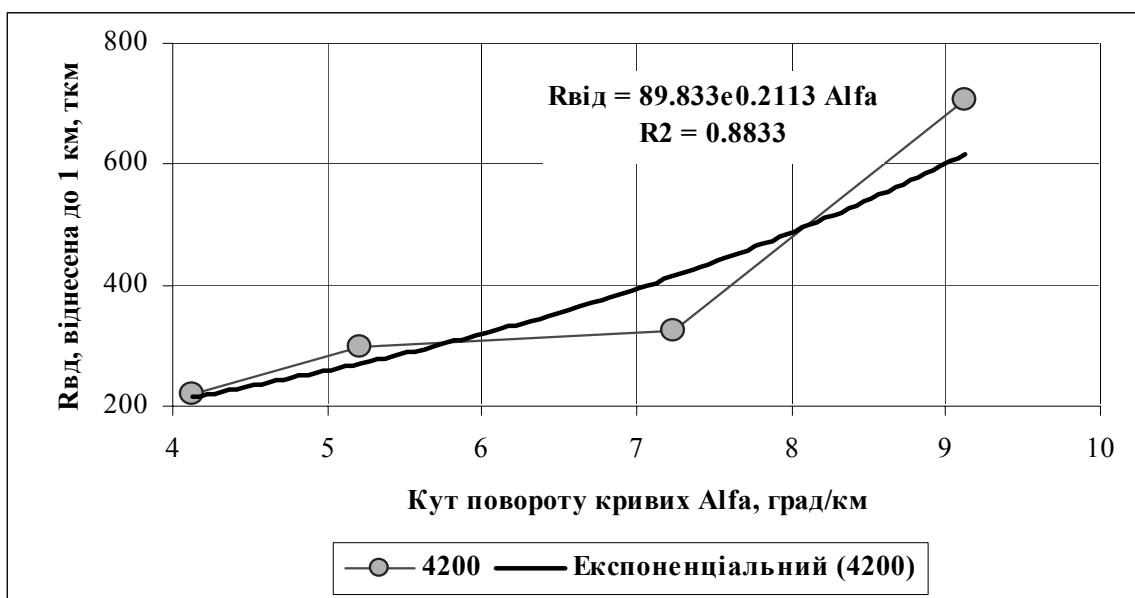


Рис. 5. Залежність роботи непогашених відцентрових сил від кута повороту, віднесеного до 1 км лінії

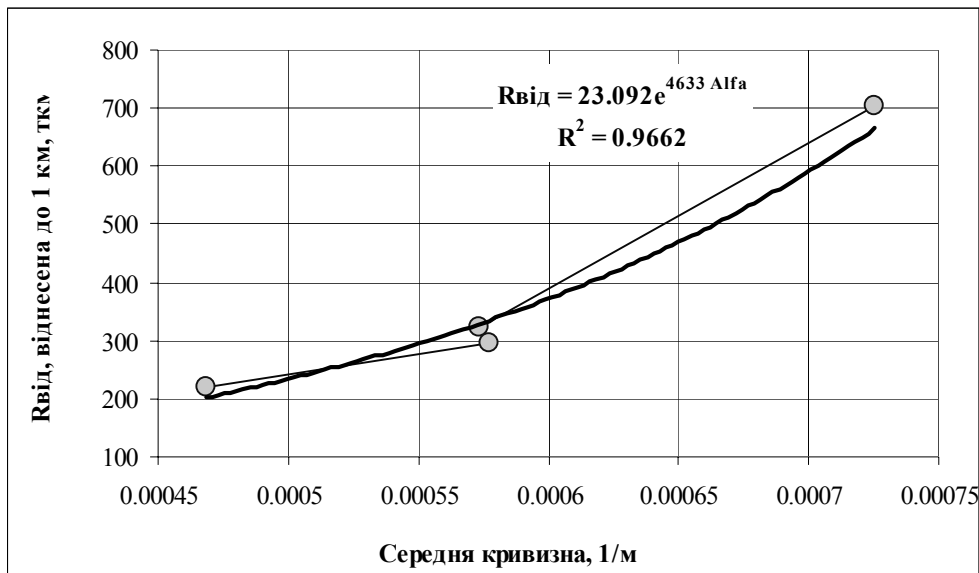


Рис. 6. Залежність роботи непогашених відцентрових сил від середньої кривизни

Розрахункові дані були також апроксимовані математичними функціями виду:

$$R_{\text{від}} = f\left(\alpha_0, \frac{1}{\rho}\right);$$

$$R_{\text{від}} = f(\alpha_0, R_{\text{сєр}}) \quad (4)$$

Використовуючи методику [5] і стандартну програму REGRFAK, були вибрані з 58-ми за-

пропонованих ті математичні функції, які дають найменшу похибку при апроксимації (5), (6). Порівняльні дані наведені в табл. 2 і 3.

$$R_{\text{від}} = \frac{1}{0,0160 - 0,000774\sqrt{i} - 0,000452\sqrt{\frac{1}{\rho}}} \quad (5)$$

$$R_{\text{від}} = 2982,6 - 119,7\sqrt{i} - 64,5\sqrt{R_{\text{сєр}}} \quad (6)$$

Таблиця 2

Результати апроксимації за формулою (5)

$i, \%$	$\frac{1}{\rho}$	$R_{\text{від}}, \text{ тис. т-км}$		Похибка, %
		Вихідні	Розрахункові	
4,12	0,000468	218,8	216,9	-0,28
5,21	0,000574	296,3	299,7	0,32
7,24	0,000577	324,5	327,9	0,34
9,12	0,000725	704,6	689,4	-0,64

Таблиця 3

Результати апроксимації за формулою (6)

$i, \%$	$R_{\text{сєр}}, \text{ м}$	$R_{\text{від}}, \text{ тис. т-км}$		Похибка, %
		Вихідні	Розрахункові	
4,12	1524	218,8	216,9	-0,88
5,21	1402	296,3	299,7	0,98
7,24	1310	324,5	327,9	-0,21
9,12	882	704,6	689,4	-0,04

З аналізу даних табл. 3 і 4 видно, що на сумарну роботу непогашених відцентрових сил основним впливовим фактором є радіуси кругових кривих і їх довжина (кути повороту). Вплив перехідних кривих відбивається на роботі відцентрових сил не настільки суттєво.

4. Зменшення роботи відцентрових сил у кривих

Одним із способів зменшення бокового зносу є встановлення оптимального підвищення зовнішньої рейки в кривих. У порядку експерименту на напрямку Курган – Челябінськ в кривих були влаштовані підвищення, що забезпечили однакові навантаження на обидві рейкові нитки. Так, в кривій радіусом 809 метрів після зміни підвищення з 100 до 60 мм інтенсивність бічного зносу зменшилась рівно в два рази. Для порівняння варіантів використовувалась умовний показник – робота непогашених відцентрових сил. Сума таких умовних робіт по всій ділянці і для всіх типів рухомого складу і служить показником, який указує на ефект від зменшення непогашених поперечних прискорень.

Визначення роботи непогашених відцентрових сил і підвищень, які були б оптимальними за критерієм мінімуму цієї роботи, передбачені у програмі RWPlan [6]. Розрахунки виконуються наступним чином.

1. За результатами зйомки у програмі RWPlan відтворюється існуючий план.

2. За програмою MoveRW виконуються тягові розрахунки для різних категорій поїздів, що обертаються на ділянці.

3. У програмі RWPlan задаються поїздопотоки для існуючого стану, а швидкості руху поїздів в кривих за результатами тягових розрахунків.

4. Для заданого поїздопотоків визначається робота непогашених відцентрових сил для існуючого стану і знаходяться підвищення, які для цього поїздопотоків забезпечать максимально допустимі швидкості і мінімум зносу колії.

5. Для пасажирського руху за спеціальною методикою в програмі RWPlan виконуються розрахунки перевлаштування плану в межах земляного полотна, яка забезпечить максимальні швидкості пасажирських поїздів і експресів.

6. На основі результатів тягових розрахунків формуються нові структури поїздопотоків і знаходяться підвищення для проектного плану лінії за умови мінімуму роботи непогашених відцентрових сил і забезпечення встановлених швидкостей руху.

За наведеною технологією були виконані розрахунки на напрямках: Київ – Коростень, Київ – Козятин, Козятин – Шепетівка і Шепетівка – Коростень (табл. 4). Результати наведені на рис. 7 і 8.

Таблиця 4

Результати розрахунків дії непогашених відцентрових сил $R_{\text{від}}$ на колію

Ділянки	G , млн т	Q , тонн	N , поїздів	Значення $R_{\text{від}}$, тис. т-км			
				Поїздопотік за $h_{\text{сн}}$		Поїздопотік за $h_{\text{онт}}$	
				парний	непарний	парний	непарний
Київ – Коростень	4,0	4000	1500	18934	19820	11963	12788
Київ – Козятин	51,8	4600	19500	128901	91221	61760	68721
Козятин – Шепетівка	41,7	4600	17888	134535	130087	85941	85337
Шепетівка – Коростень	3,0	3600	1150	7507	7720	4214	4203

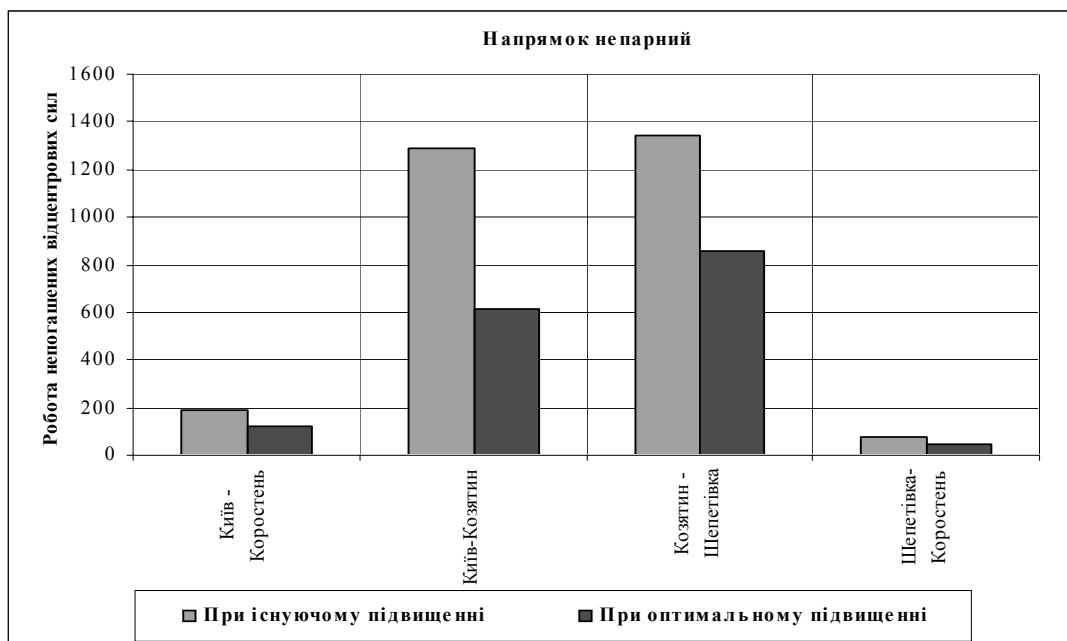


Рис. 7. Робота відцентрових сил до і після модернізації (напрямок непарний)

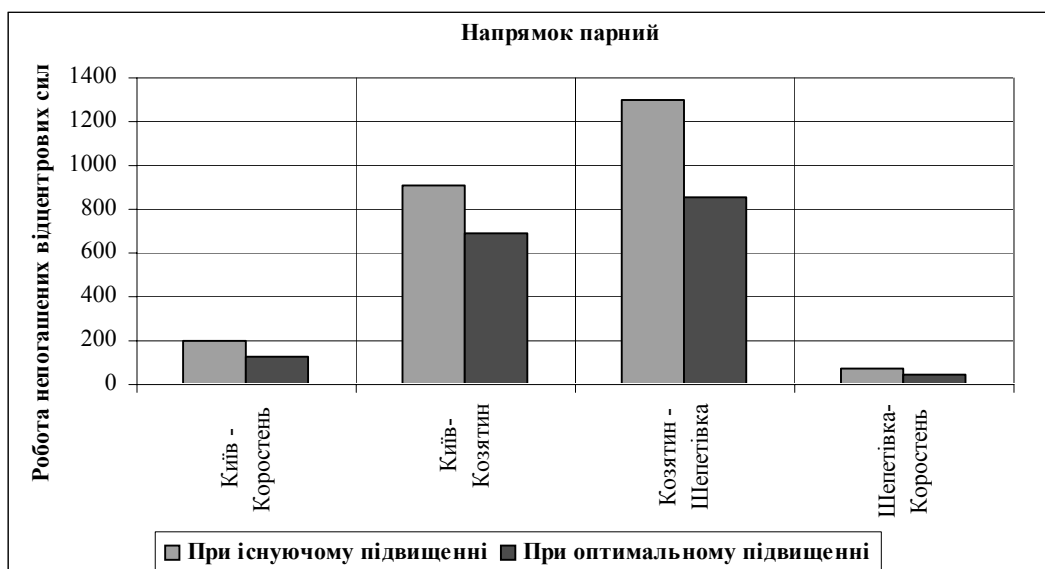


Рис. 8. Робота непогашених відцентрових сил до і після модернізації (напрямок парний)

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. З використанням параметрів плану ділянок Київ – Коростень, Київ – Козятин, Козятин – Шепетівка і Шепетівка – Коростень встановлено аналітичні залежності роботи непогашених відцентрових сил від кута повороту кривих, віднесених до 1 км, і середньої кривизни.

2. Запропоновано способи зменшення дії непогашених відцентрових сил в кривих ділянках колії. Розрахунки показали, що влаштування підвищень за умови мінімуму роботи непогашених відцентрових сил (навіть без розмежу-

вання потоків) дозволяє для ділянок, що розглядалися, зменшити цю роботу на 10...15 %.

3. Зменшення роботи непогашених відцентрових сил за рахунок встановлення оптимального підвищення зовнішньої рейки в кривих веде до скорочення витрат на ремонт колії та рухомого складу. Сучасні комп'ютерні технології, розроблені на кафедрі проектування і будівництва доріг ДПТУ доц. І. П. Корженевичем дозволяють достатньо просто виконувати розрахунки і надавати пропозиції щодо встановлення оптимального підвищення в кривих.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Текст] : Схвалено Розп. Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-р. – К., 2009. – 4 с.
2. Шахуняц, Г. М. Железнодорожный путь [Текст] : учебник / Г. М. Шахуняц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
3. Корженевич, І. П. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати, пов'язані із зносом колійної інфраструктури [Текст] / І. П. Корженевич, М. Б. Курган, Ю. С. Бараш // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 21. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 285-292.
4. Фришман, М. А. Как работает путь под поездами [Текст]. – 4-е изд. / М. А. Фришман. – М.: Транспорт, 1983. – 168 с.
5. Курган, М. Б. Математичні методи і моделі в спеціальних задачах [Текст] / М. Б. Курган, Д. М. Курган, І. О. Бондаренко. – Д.: ДНУЗТ, 2005. – С. 27.
6. Корженевич, І. П. Розширені можливості проектування перебудови плану під високі швидкості поїздів у програмі RWPlan 1.3.4 [Текст] / І. П. Корженевич. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 67-77.

Надійшла до редколегії 18.05.2010.

Прийнята до друку 28.05.2010.