УДК 625.115 : 656.225(477)

М. Б. КУРГАН, М. А. ГУСАК, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА (ДІІТ)

ПЕРЕБУДОВА КРИВИХ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ

Приведена методика визначення раціональних параметрів радіусів і перехідних кривих, які забезпечують максимально допустиму швидкість при мінімальних витратах на реконструкцію плану

Ключові слова: максимальна швидкість, радіус кривої, параметр перехідної кривої, зміщення вісі колії

1. Постановка задачі

Одним з основних напрямів реалізації Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року є поетапне впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів [1]. Щодо планів на 2012 рік, то серед пріоритетів залишається підготовка залізниць до організації пасажирських перевезень, пов'язаних із проектом «ЄВРО-2012».

Допустимий рівень швидкості визначають, як правило, параметри кривих в плані. Наприклад, на напрямку Київ–Львів максимальну швидкість 160 км/год обмежують 187 кривих. Постає питання щодо можливості й доцільності перебудови певної кількості кривих. Рекомендації ДБН В.2.3-19-2008 з цього приводу такі «Величину радіусів кривих в плані встановлюють у кожному конкретному випадку в залежності від швидкості руху поїздів і значень радіусів кривих існуючої колії». Щоб отримати більш конкретні рішення, були проведені додаткові дослідження.

Ще в 70-х роках минулого століття проф. А. І. Іоаннісян в роботі «Улучшение трассы существующих железных дорог» [2] поставив питання: *що краще, прийняти більший радіус, але меншу перехідну криву, чи менший радіус і більшу довжину перехідної кривої за умови забезпечення максимально встановленої швидкості?*

Відомо, що збільшення радіусу призводить до зміщення осі колії. У меншій мірі спостерігається зміщення осі при подовженні перехідних кривих. Виникла потреба дослідити, яким чином все це відбивається на обсягах робіт, вартості перебудови кривих та на динамічних показниках взаємодії рухомого складу й колії.

2. Методика дослідження

Зсув Δ при збільшенні радіуса з $R_{\text{існ}}$ до $R_{\text{пр}}$ дорівнює різниці бісектрис $\Delta_{\text{R}} = Б_{\text{пр}} - Б_{\text{існ}}$ і різниці зсувів від перехідних кривих $\Delta_l = p_{\text{пр}} - p_{\text{існ}}$ тобто

$$\Delta = \left(Б_{\text{пр}} + p_{\text{пр}}\right) - \left(Б_{\text{існ}} + p_{\text{існ}}\right),$$

або

$$\Delta = \left[R_{пр}\left(\sec\frac{\alpha}{2} - 1\right) + \frac{l_{\text{пр}}^2}{24\,R_{\text{пр}}}\right] - \left[R_{\text{існ}}\left(\sec\frac{\alpha}{2} - 1\right) + \frac{l_{\text{існ}}^2}{24\,R_{\text{існ}}}\right].$$

Після перетворень отримаємо

$$\Delta = \Delta R\left(\sec\frac{\alpha}{2} - 1\right) + \frac{R_{існ}\left(l_{пр}^2 - l_{існ}^2\right) - l_{існ}^2\,\Delta R}{24\,R_{існ}\left(R_{існ} + \Delta R\right)}. \quad (1)$$

З'ясуємо, яка частка зсуву формується за рахунок зміни радіусу і яка – за рахунок подовження перехідних кривих. Відомо, що перехідна крива представляє собою радіоідальну спіраль, рівняння якої $\rho = \frac{C}{S}$. В цьому рівнянні C представляє собою постійну величину, що названа параметром перехідної кривої. При $\rho = R, S = L$ параметр перехідної кривої $C = R \cdot L$.

Для кривих з кутом повороту 20, 40 і 60° були визначені зміщення осі колії за формулою (1) і побудовані графіки $\Delta = f\left(C\right)$ (рис. 1).

З рис. 1 видно, що величина зміщення осі Δ тим менша (що має велике значення при перебудові кривої), чим менший кут повороту і більший параметр перехідної кривої C. Частка впливу довжини перехідної кривої на величину зсуву залежить також від кута повороту α і параметра C (рис. 2), тобто зсув осі від подовження перехідних кривих Δ_l тим більший, чим менший кут повороту і чим більший параметр C.

© Курган М. Б., Гусак М. А., Хмелевська Н. П., 2012

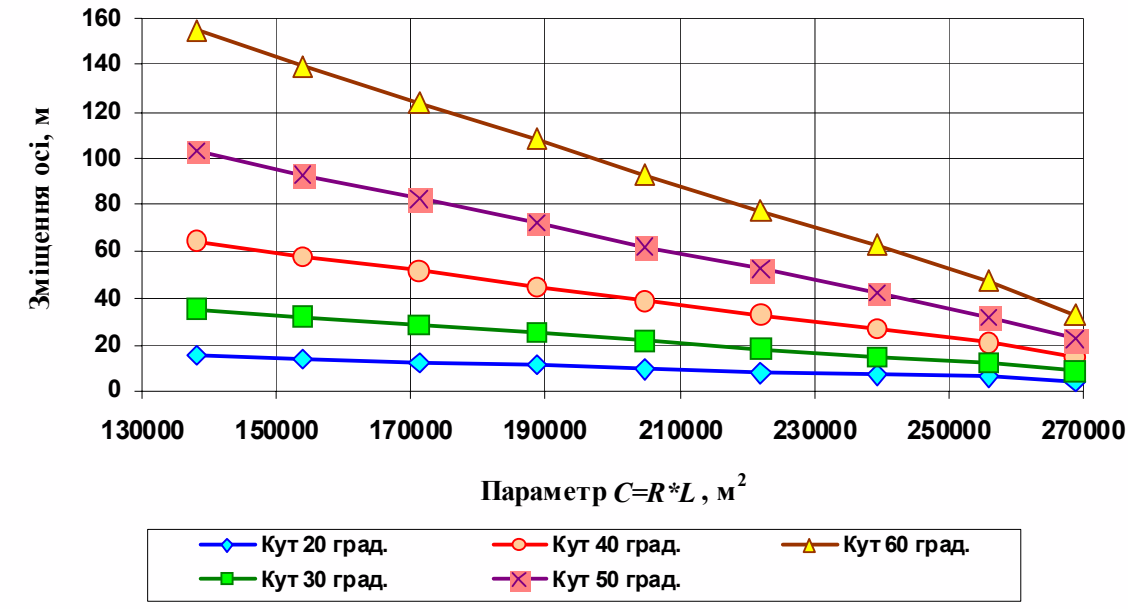


Рис. 1. Залежність зміщення осі колії від параметра C і кута α

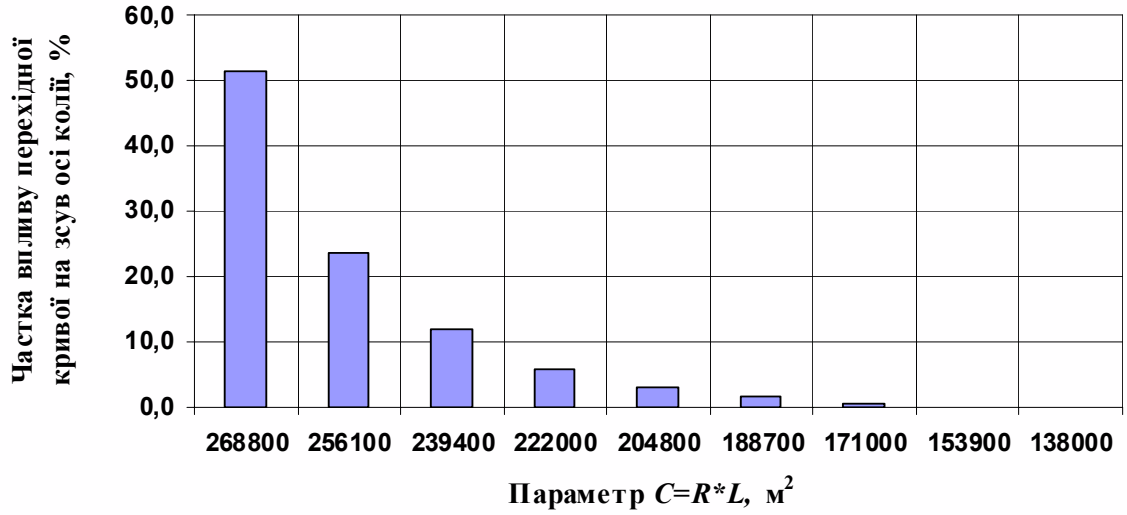


Рис. 2. Вплив перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії (кут повороту 20°)

Якщо параметр кривої C встановлюється за умови забезпечення максимально допустимої швидкості $V_{\max}$, то має місце таке співвідношення:

$C_{R_1}^{V_{\max}} > C_{R_2}^{V_{\max}} > \ldots C_{R_n}^{V_{\max}}$, (де $R_1 < R_2 < \ldots R_n$),

тобто параметр C має більші значення при менших проектних радіусах але довгих перехідних кривих і зростає при збільшенні кута повороту кривої. У цьому випадку, при кутах повороту 20, 30 і 40° частка перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії при перебудові кривих становить від 51,6 до 22,6 і 12,4 % відповідно (радіус 1200 м, перехідна крива 220 м), або 23,6; 10,3 і 5,7 (радіус 1300 м, перехідна крива 200 м).

Поставимо питання, який параметр C можна вважати найбільш раціональним для забезпечення максимально встановленої швидкості на існуючих ділянках залізниці. Відповідно з графіками (рис. 3) $V_{\max}$ = 160 км/год можна забезпечити при $R_{\text{пр}}$ = 1200 м тільки якщо C = = 240000 м^2, при $R_{\text{пр}}$ = 1600 м, якщо C знаходиться в діапазоні 192000...320000 м^2. Частка впливу перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії в наведених прикладах незначна і визначається в основному величиною, що залежить від $dR = R_{\text{пр}} - R_{\text{icн}}$.

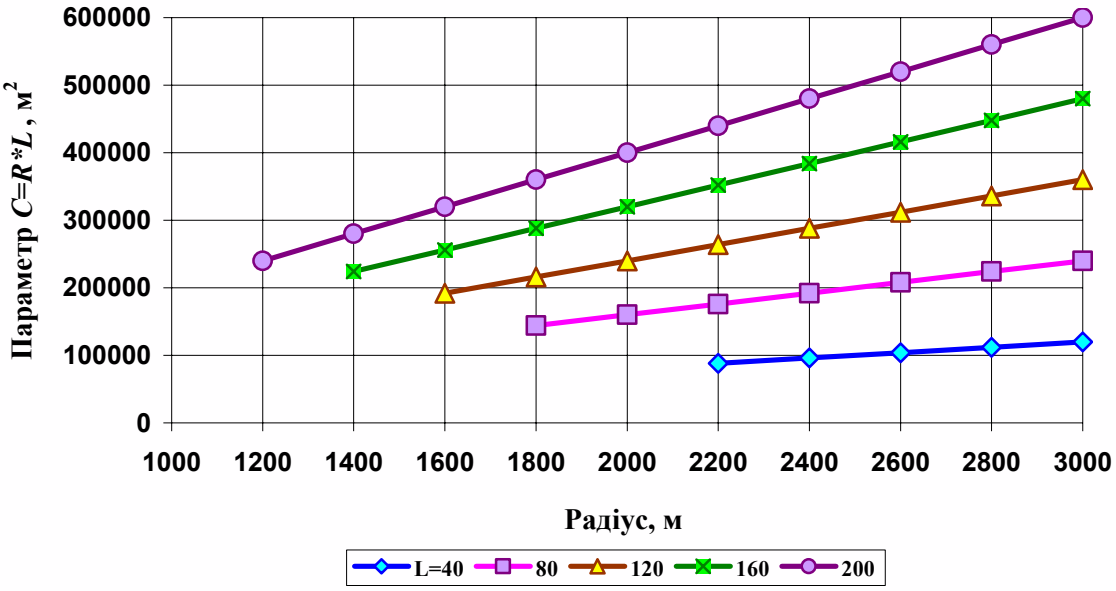


Рис. 3. Допустимі значення параметра C при V_{max} = 160 км/год

З використанням програми RWPlan і методики, що передбачає урахування відповідних робіт з перебудови кривої, була розрахована за формулою (2) вартість по кожному варіанту (рис. 4)

$$K = \sum_{i=1}^{i=4} a_i l_i + \sum_{i=5}^{i=7} a_i l_i + \sum_{i=8}^{i=10} a_i Q_i \ , \qquad (2)$$

де $a_1, \dots a_4$ – витрати на зміщення осі існуючої колії відповідно до 60 мм, 61…120 мм, 121…120 мм і більше 250 мм;

$l_1, \dots l_4$ – довжина ділянок з відповідним діапазоном зсувів;

$a_5, \dots a_7$ – витрати відповідно на перекладання верхньої будови колії, перенесення контактної мережі, пристроїв СЦБ;

$l_5, \dots l_7$ – довжина ділянок перекладання колії, перенесення контактної мережі, кабелів СЦБ;

$a_8, \dots a_{10}$ – вартість 1 м^3 баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсипання земляного полотна на новій трасі;

$Q_8, \dots Q_{10}$ – об’єм баласту й ґрунту для розширення існуючого земляного полотна чи для відсипання нового земляного полотна.

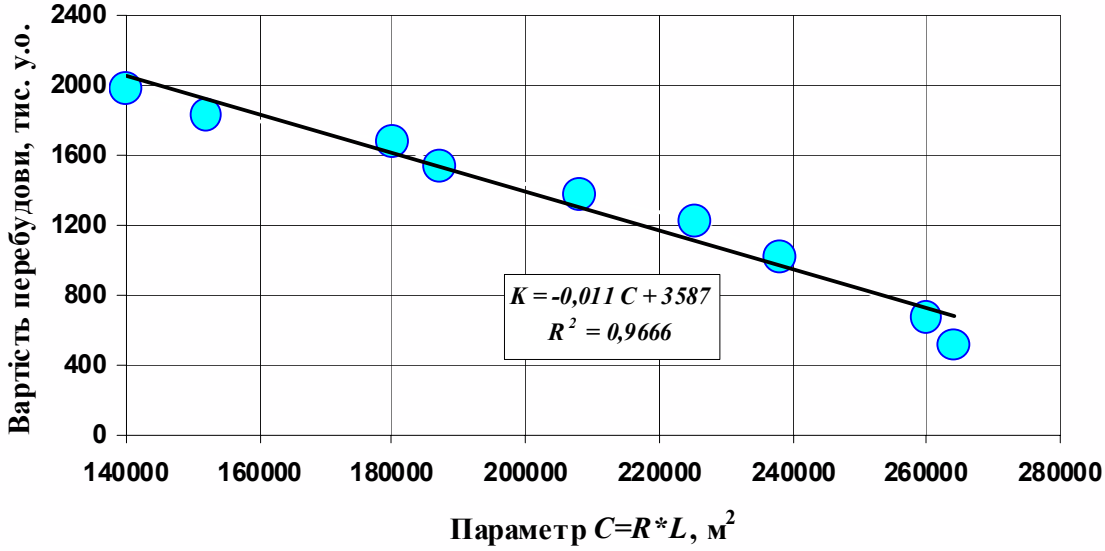


Рис. 4. Вартість перебудови кривої в залежності від параметра C (кут повороту 30°)

З результатів розрахунків виконаних при різних значеннях кута повороту випливає, що в кривих з кутом 30 град. вартість перебудови кривих збільшується у 2.3...3.3 рази у порівнянні з кутом повороту 20 град. В кривих з кутом повороту 40 град вартість збільшується відповідно у 4...5,9 рази. Тому, рекомендації ДБН В.2.3-19-2008 щодо урахування значень радіусів кривих існуючої колії хоча і є не конкретними, але правомірними.

Отже, за умови мінімальної вартості перебудови кривих бажано, щоб $C \to \max$ *при* $R \to \min, L \to \max$. Розглянемо це питання с позиції динаміки взаємодії екіпажів в кривих з різними параметрами С.

За базову прийнята модель просторових коливань швидкісного пасажирського вагона [3], що була адаптована для вирішення конкретних задач в дисертації. Були встановлені залежності бокових $Y_Б$, рамних сил Y_R, коефіцієнта горизонтальної динаміки k_{GD} та інших показників від параметру C.

Для прикладу на рис. 5 і 6 наведені залежності Y_R і k_{GD} від параметру C.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки визначається як відношення максимальної рамної сили Y_R до статичного навантаження $P_{ст}$ колісних пар на рейки

$$k_{GD} = \frac{Y_R}{P_{ст}} \le 0,4. \qquad (3)$$

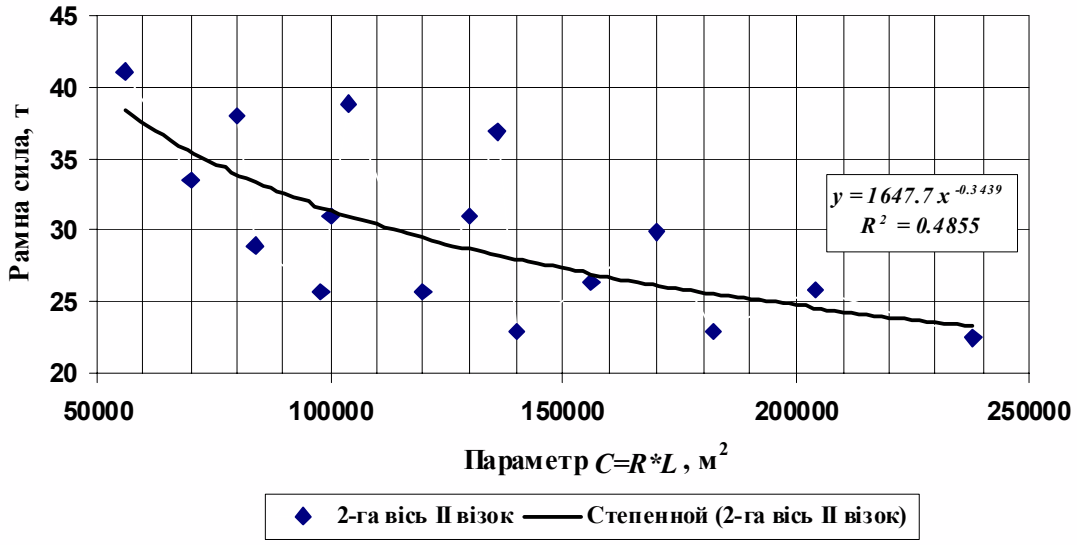


Рис. 5. Зміна величини рамної сили від параметру C

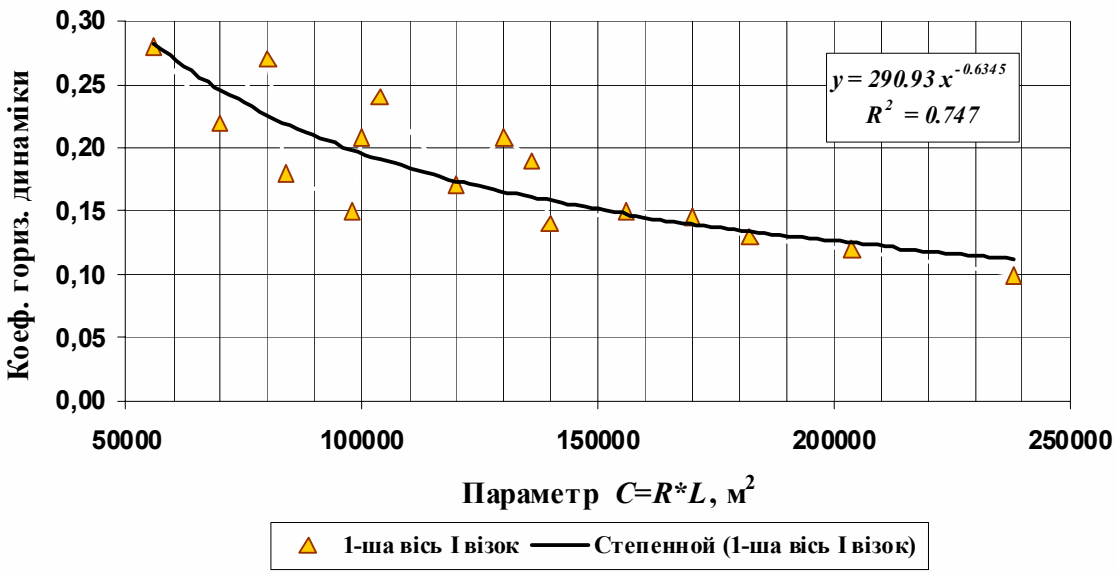


Рис. 6. Зміна коефіцієнту горизонтальної динаміки від параметру C.

З рис. 6 видно, що при збільшенні параметра C з 50000 до 250000 м^2 коефіцієнт k_{GD} зменшується від 0,28 до 0,12, тобто умова безпеки від поперечного зсуву рейко-шпальної решітки (3) виконується і тим надійніше, чим більший параметр C.

Аналіз таких графіків дозволяє зробити висновок на користь прийняття більшого параметру C, так як проглядається тенденція до зменшення як бокових, так і рамних сил при його зростанні.

3. Реалізація запропонованої методики

Для прикладу застосування запропонованої методики розглядається перегін Максимівка-Бірки Великі Львівської залізниці. За результатами тягових розрахунків (електровоз ДС3, маса рухомого складу 600 т) побудована крива швидкості руху $V = f(S)$, рис. 7. З аналізу кривої $V = f(S)$ видно, що максимальна швидкість 160 км/год не реалізується за двома причинами: *по-перше*, за наявністю на 1312 км кривої радіусом $R_{\text{існ}}$=1050 м із перехідними $L_1 = L_2$ = 90 м; *по-друге,* за наявністю ділянки 1312 км –1314 км в парному напрямку підйому близько 6‰.

Безумовно, найбільш вагомим фактором є перший. Інститутом «Київдіпротранс» в роботі [4] запропоновано збільшити радіус до $R_{\text{пр}}$ = = 1500 м з перехідними $L_1 = L_2$ = 220 м при максимальному зміщенні осі колії близько 6 метрів.

Виникає питання, чи можна вважати таке рішення оптимальним. Щоб на нього відповісти, ДІПТом були виконані розрахунки для таких умов (1–4):

Максимальна швидкість на перегоні 160 км/год.

Непогашене прискорення для пасажирських поїздів $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{пас}}$=0,7 і 1,0 м/с^2.

Непогашене прискорення для вантажних поїздів $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{ван}}$ = –0,3 м/с^2.

Зміщення осі існуючої колії у межах смуги відводу $S \le 15$ м.

Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Мінімальна швидкість вантажного поїзда $V_{\min}$, км/год	Проектний радіус $R_{\text{пр}}$, м	Довжина перехідної кривої L, м	Параметр перехідної кривої $C = R \cdot L$, м^2	Зміщення осі колії S, м
Непогашене прискорення: для пасажирських поїздів $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{пас}}$ = 0,7 м/с^2, для вантажних $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{ван}}$ = -0,3 м/с^2				
45	1820	80	145600	7,6
60	1700	100	170000	6,4
75	1550	120	186000	4,9
90	1350	160	216000	3,2
Непогашене прискорення: для пасажирських поїздів $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{пас}}$ = 1,0 м/с^2, для вантажних $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{ван}}$ = -0,3 м/с^2				
45	1400	90	126000	3,2
60	1310	110	144100	2,3
75	1200	140	168000	1,3
90	1100	180	198000	0,7

З Правил [5] відомо, що на вибір проектних параметрів кривої впливають не тільки максимальна швидкість пасажирських поїздів, але й мінімальна швидкість вантажних. Відповідно до ПТР [6] вантажний поїзд з електровозом ВЛ80 може рухатись при повному (нормальному) збудженні тягових двигунів на 29 і 25 позиціях. У першому випадку швидкість в кінці підйому становить 60 км/год, у другому – 45 км/год (рис. 8). При таких швидкостях вантаж-

ного поїзда, мінімальний радіус кривої може знаходитись в діапазоні 1700-1820 м при довжині перехідних кривих відповідно 100 і 80 метрів. При цьому зміщення осі існуючої колії складе 6,4…7,6 метрів.

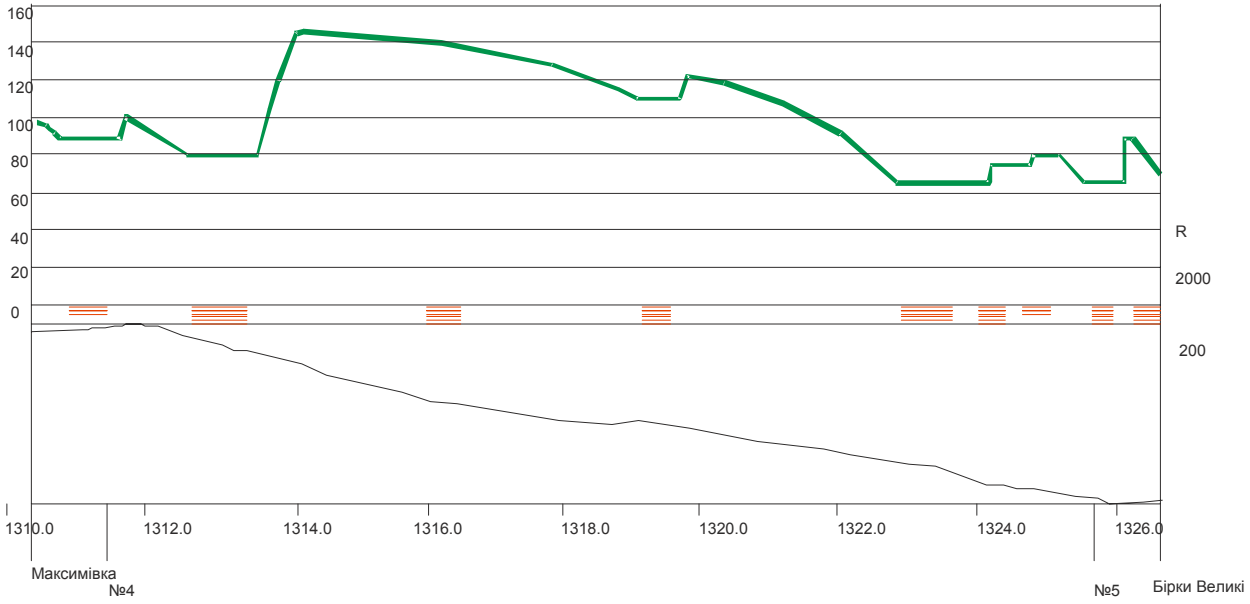


Рис. 7. Крива швидкості руху пасажирського поїзда (електровоз ДС3, маса 600 т) на перегоні Максимівка–Бірки Великі (парний напрямок)

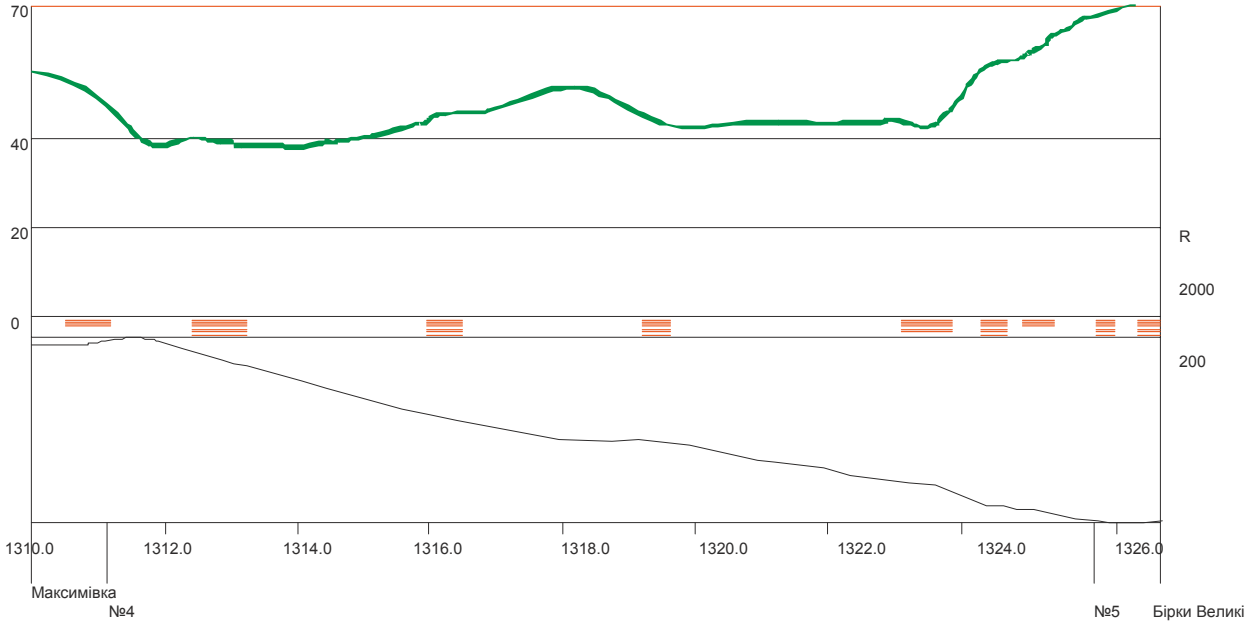


Рис. 8. Крива швидкості руху вантажного поїзда (електровоз ВЛ80, маса 2800 т, 25 поз.) на перегоні Максимівка–Бірки Великі (парний напрямок)

Для зменшення обсягів робіт, отже й вартості реконструкції, можна запропонувати збільшити норматив непогашеного прискорення для пасажирських поїздів до 1,0 м/с^2 (з дозволу Укрзалізниці). В такому випадку мінімальний радіус кривої буде 1310…1400 м при довжині перехідних кривих відповідно 110…90 м.

При виконанні умов (1–-4) кожному конкретному радіусу відповідає певна довжина перехідної кривої. Були побудовані й проаналізовані графіки залежності зміщення осі колії S від параметра C (рис. 9, 10).

З рисунків випливає, що при збільшенні параметру C зменшується зміщення осі існуючої колії, а отже і витрати на перебудову кривих, що підтверджено розрахунками (табл. 2, рис. 11).

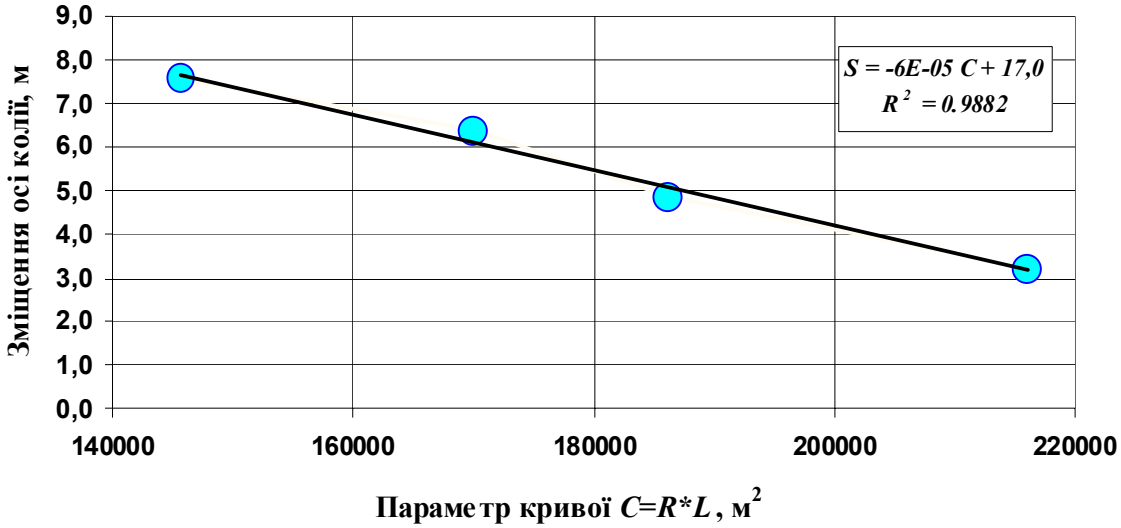


Рис. 9. Зміщення осі колії при перебудові кривої на перегоні Максимівка-Бірки Великі, км 1320

(швидкість 160 км/год, $[\alpha_{нп}]_{пас}$ = 0,7 м/с^2 , $[\alpha_{нп}]_{ван}$ = -0,3 м/с^2)

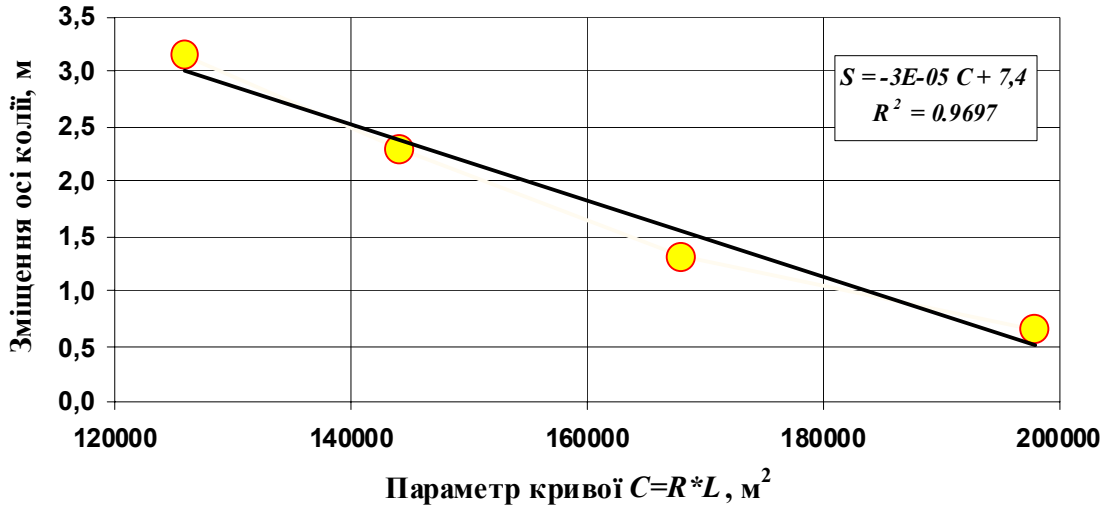


Рис. 10. Зміщення осі колії при перебудові кривої на перегоні Максимівна - Бірки Великі, 1320 км

(швидкість 160 км/год, $[\alpha_{нп}]_{пас}$ =1,0 м/с^2 , $[\alpha_{нп}]_{ван}$ = -0,3 м/с^2)

Таблиця 2

Витрати на перебудову кривих при різних проектних параметрах

R ,м	L , м	C , м^2	Витрати, тис. у.о.	Витрати , %
1350	160	216000	160,261	100,0
1550	120	186000	220,274	137,4
1700	100	170000	275,736	172,1
1820	80	145600	324,41	202,4

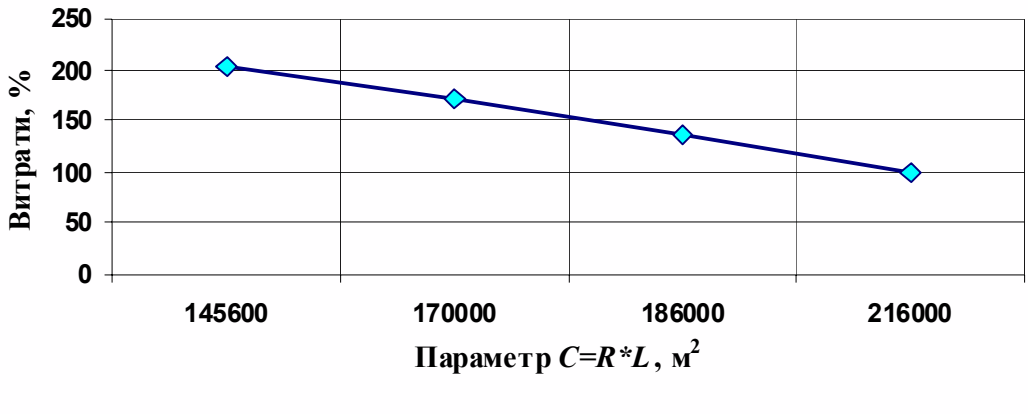


Рис. 11. Залежність витрат на перебудову кривих від параметру C

Висновки

1. При розмежуванні вантажного й пасажирського руху й спеціалізації напрямків для перевезень змінюються швидкості руху, параметри поїздопотоку, що викликає необхідність в корегуванні параметрів кривих при реконструкції плану лінії.
2. Застосування розробленої в ДІІТі методики дозволяє визначати такі параметри кривих $C = R \cdot L$, що забезпечують максимально допустиму швидкість при мінімальних витратах на перебудову кривих і раціональних динамічних показниках взаємодії рухомого складу і колії в таких кривих.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Текст]. – К., 2010. – 16 с.
2. Иоаннисян, А. И. Улучшение трассы существующих железных дорог. [Текст]/ А. И. Иоаннисян. – М.: Транспорт, 1972.
3. Данович, В. Д. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны [Текст] / В. Д. Данович, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халипова // Транспорт: Сб. научн. тр. ДИИТа. – Вып. 8 – Д., 2001. – С. 124–138.
4. Перевлаштування колійної інфраструктури та залізничних мереж для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на напрямку Київ-Львів, дільниця Підволочиськ-Львів [Текст]. – К.: Київдіпротранс, 2007.
5. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії [Текст] / ЦП 0236: Затв.: Наказ Укрзалізниці від 14.12.2010 №778-Ц. – К., 2011. – 56 с.
6. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

Надійшла до редколегії 22.11.2011.
Прийнята до друку 25.11.2011.

Н. Б. КУРГАН, М. А. ГУСАК, Н. П. ХМЕЛЕВСКАЯ

ПЕРЕУСТРОЙСТВО КРИВЫХ ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ

Приведена методика установления рациональных параметров радиусов и переходных кривых, которые обеспечивают максимально допустимую скорость при минимальных затратах на реконструкцию плана.

Ключевые слова: максимальная скорость, радиус кривой, параметр переходной кривой, смещение оси пути

N. B. KURGAN, M. A. GUSAK, N. P. KHMELEVS'KA

RECONSTRUCTION OF CURVES FOR INTRODUCTION OF HIGH-SPEED TRAFFIC OF PASSENGER TRAINS

The technique of determining the rational parameters of radii and transitive curves, which provide as much as possible admissible speed at the minimum expenses for plan reconstruction, is presented.

Keywords: maximum speed, curve radius, parameter of transitive curve, displacement of track axis