

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 625.113:656.22

М. Б. КУРГАН^{1*}, Д. М. КУРГАН², С. Ю. БАЙДАК³, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА⁴, Р. Б. НОВІК⁵

^{1*}Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

²Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

⁵Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта rus.novik.1980@gmail.com, ORCID 0000-0002-2571-6641

Зниження інтенсивності розладів залізничної колії за рахунок удосконалення параметрів плану лінії під час паспортизації кривих

Мета. У роботі передбачено за рахунок удосконалення параметрів плану лінії досягти зниження інтенсивності розладів залізничної колії і, в остаточному підсумку, забезпечити безпеку, плавність і комфортабельність їзди на напрямках швидкісного руху поїздів. **Методика.** Для отримання вихідних даних щодо параметрів плану наявних залізниць автори провели огляд світової літератури за темою дослідження, а також моніторинг роботи залізничної колії на основі даних технічних паспортів дистанцій колії. У прийнятих математичних моделях наявного плану використано припущення, що три суміжні точки кривої лежать на колі. На такому принципі побудована робота виправлювально-підбивно-рихтувальних машин. У результаті виправлювальних робіт із метою зменшення об'ємів зсувів крива не відповідає вихідним паспортним даним. Методика передбачає аналіз і систематизацію даних побудови відповідних графіків і встановлення аналітичних залежностей. **Результати.** Недостовірне визначення параметрів кривих призводить до необґрунтованого обмеження швидкості руху або до великих обсягів рихтувальних робіт. Тому розроблено пропозиції щодо зниження інтенсивності розладу колії за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог, що діють в Україні на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів. За розрахунками, які базуються на аналізі способу зйомки кривих, який застосовують у дистанціях колії, з'ясовано вплив точності отриманих даних на встановлення параметрів кривих і допустимої швидкості руху поїздів. Розроблено рекомендації, що сприятимуть ефективності проектних рішень, визначатимуть якість проекту реконструкції залізниці на діючих напрямках. **Наукова новизна.** Набули подальшого розвитку наукові підходи до оцінки стану кривих, визначення їх раціональних параметрів і допустимої швидкості на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів в Україні. **Практична значимість.** Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо поліпшення плавності руху поїздів, підвищення швидкості й рівня комфортабельності їзди в кривих ділянках колії, особливо на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів.

Ключові слова: швидкісний рух поїздів; методи зйомки кривих; параметри кривих; похибки вимірювання; допустима швидкість руху поїзда; плавність їзди; комфортабельність їзди

Вступ

Уразі вирішенні завдання підвищення швидкостей руху поїздів однією із суттєвих перешкод до зміни швидкісного режиму є невідповідність

фактичного положення кривої проектній документації. Саме тому щорічно Укрзалізниця видає різні накази та розпорядження, що встановлюють основні параметри кривих у плані та за рівнем, а також обсяги робіт із реконструкції

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

кривих із метою приведення їх до проектної документації. За фактичними параметрами кривій падають певним статус, який установлює порядок її подальшої експлуатації залежно від ступеня відхилення цих параметрів від проектних. Проведений аналіз параметрів дозволяє узагальнити рівень розладу наявних кривих, виявити розбіжності у якісній та кількісній оцінках одних і тих самих ділянок колії, а також установити необхідність комплексної оцінки фактичних та проектних параметрів геометрії рейкової колії.

Зниження інтенсивності розладу колії можна досягти за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог, своєчасного виконання ремонтних робіт і контролю за їх виконанням із застосуванням сучасних засобів діагностики колії. Для вдосконалення системи ведення колійного господарства потрібно проводити паспортизацію кривих. Якщо фактичні параметри кривої відрізняються від паспортних даних, то розраховують раціональні параметри влаштування кривої для заданого діапазону швидкостей, що забезпечують виконання нормативних документів, оптимізацію силової взаємодії рухомого складу та колії за мінімальних робіт із її рихтування.

Як показали проведені науковцями Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна розрахунки [1, 2, 5], обмеження швидкості, що встановлені за наказом начальника залізниці, можуть не відповідати розрахунковим. Це можна пояснити тим, що розрахунки в дистанціях колії часто виконують за спрощеною схемою, а основну увагу приділяють двом критеріям – непогашеному прискоренню та крутизни відводу підвищення зовнішньої рейки. Отже, не враховують у повній мірі критерії, що впливають на плавність і комфортабельність руху. Такий підхід не допустимий у разі впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів, оскільки збільшення швидкості ставить підвищені вимоги до якості проектування, виправлення та утримання кривих [1].

Мета

Основною метою нашої роботи є розробка пропозицій щодо зниження інтенсивності розладу колії за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог, що діють в Україні на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів.

Методика

Дослідження базується на результатах моніторингу технічного стану залізничної колії за підвищення швидкості руху поїздів у кривих, враховує зміни або корегування допущень за швидкостей 160 км/год і вищих.

Поки максимальні швидкості пасажирських і вантажних поїздів відрізнялися на невелику величину, комфортабельність їзди взагалі не аналізували. Сьогодні, коли, з одного боку, ми йдемо шляхом підвищення швидкості руху пасажирських поїздів, а з іншого, орієнтуємось на мінімальні витрати, що пов'язані з рухом поїздів, такий підхід до плану залізничної колії стає досить витратним і навіть небезпечним. Справа в тому, що допустимі швидкості руху визначають для проектного положення колії, якого насправді немає. Установлюючи допустимі швидкості, виходять із того, що ряд параметрів руху, таких як непогашене прискорення, швидкість наростання прискорень і швидкість опускання колеса, не перевищують допустимих значень [1].

Для безпечності, ефективності, надійності та доступності залізничних перевезень потрібно, щоб залізничні колії перебували в належному стані [1, 12, 21]. У роботі [20] описано підхід з урахуванням ризиків, який можна використовувати для економічного обґрунтування стану залізничних колій шляхом порівняння витрат на обслуговування інфраструктури на основі життєвого циклу, експлуатаційних витрат поїздів, витрат часу в дорозі, безпеки, соціальних та екологічних впливів. Цей підхід проілюстровано даними за трьома маршрутами магістральної залізничної мережі Великої Британії.

Технічну систему, яка дозволяє вирішувати завдання щодо оптимальної реконструкції кривих залізниць із метою збільшення швидкості руху поїздів за мінімальних інвестицій, запропонували автори роботи [18]. Ураховано комфортне перевезення пасажирів у разі збільшення швидкості в кривих ділянках колії. Роботу [14] присвячено визначенню горизонтальної кривизни залізничної колії, зазначено, що це найчастіше роблять опосередковано. Цей метод заснований на зміні кутів нахилу рухомої хорди в декартовій системі координат. Розглянуто вплив довжини хорди на отримані значення кривизни. Установлено, що довжина хорди не відіграє суттєвої ролі у визначенні кривизни й не обмежує

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

застосування цього методу. Водночас акцентовано на точності визначення кривизни та її відповідності на ділянках перехідних кривих. У роботі [13] розглянуто застосування сучасних геодезичних технологій для визначення геометрії колії в аспекті допустимих швидкостей поїздів. У роботі [15] визначено горизонтальну кривизну осі залізничної колії для отримання невідомих геометричних характеристик траси: розташування прямих і кривих ділянок. Автор вважає, що ця проблема остаточно не вирішена, бо геометричні характеристики було визначено за допомогою наближених методів. Запропоновано нову концепцію визначення кривизни колії за допомогою зміни кута нахилу рухомої хорди. Щоб скористатися цим методом, необхідно знати координати точок у декартовій системі для заданої ділянки. Багато наукових праць присвячено обґрунтуванню виду перехідних кривих для впровадження швидкісного руху поїздів. Так, у роботі [16] представлено новий вид перехідної кривої, адаптованої до експлуатаційних вимог, що діють на залізниці.

У чинних правилах проектування залізниць Угорщини немає проектних параметрів, пов'язаних зі швидкістю понад 160 км/год. У відповідному міжнародному стандарті (ENV 13803) аналогічне обмеження швидкості становить 300 км/год. У статті [11] визначено параметри двох перехідних кривих, які використовують в Угорщині та Австрії. Показано, що зручність використання перехідних кривих у вигляді кло-тоїди необґрунтовано обмежена в угорських правилах для швидкостей до 120 км/год.

Результати

Першим кроком удосконалення системи ведення колійного господарства може стати паспортизація кривих ділянок колії.

Паспорт кривої – це зареєстровані в технічному паспорті дистанції колії (форма АГУ–4) параметри кривої, що містять такі характеристики кривої ділянки колії, як пікетажне положення і кількість (однорадіусна або складова) кривих, величина радіусів, довжина перехідних кривих, підвищення зовнішньої рейки.

Обов'язковими умовами паспортних характеристик кривої є:

умова 1 – дотримання вимог чинних нормативних документів: ЦП–0236 «Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії» [10] та ЦП–0269 «Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України» [3];

умова 2 – положення в плані максимально наближене до фактичних обрисів кривої. Може відрізнятися від наявного не більше ніж гранично можливі зсуви колії, обмежені габаритними, технічними, технологічними та іншими вимогами;

умова 3 – паспортні характеристики влаштування кривої (за кривизною, підвищенням зовнішньої рейки, довжиною перехідних кривих) забезпечують у разі встановлених та фактичних швидкостей руху поїздів раціональні величини непогашеного прискорення ($a_{\text{нп}}$, м/с²), швидкості його зміни (ϕ , м/с³) і відводу підвищення зовнішньої рейки (i_v , ‰).

Таким чином, методика дослідження передбачає перевірку паспортних характеристик кривих. Якщо наявні параметри кривої відрізняються від вимог (1–3), то розраховують її раціональні параметри для заданого діапазону швидкостей, що забезпечують виконання чинних нормативних документів, оптимізацію силової взаємодії рухомого складу та колії за мінімальних зсувів і підвищення зовнішньої рейки.

Розраховані проектні паспортні характеристики кривої після затвердження службою колії повинні бути реалізовані під час планових ремонтних робіт або реконструкції колії.

Перевірка дотримання умови 1

Перед уведенням швидкісного руху поїздів залізнична колія, рухомий склад та інші пристрої обслуговування залізниць повинні бути приведені до стану, який забезпечує рух поїздів зі встановленими швидкостями. Отже, постає задача оцінки стану кожної кривої щодо забезпечення плавності й комфортабельності їзди. Криву вважають динамічно плавною, якщо відхилення в стрілах вигину не перевищують номінальних значень, тобто $\Delta f_{\text{круг}} \leq [\Delta f_{\text{круг}}]$ і $\Delta f_{\text{пк}} \leq [\Delta f_{\text{пк}}]$, де $\Delta f_{\text{кр}}$ – різниця стріл вигину в суміжних точках через 10 м за довжини хорди $a = 20$ м;

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

$$\Delta f_{\text{пк}} = \frac{125 \cdot [\psi] \cdot a^3 \cdot 3,6^3}{2 \cdot V^3}, \quad (1)$$

де $\Delta f_{\text{пк}}$ – номінальні відхилення, які допускають від рівномірного наростання стріл на перехідних кривих у точках, розташованих через 10 м за довжини хорди 20 м; $C_{\text{max}} = R \cdot l$ – найбільше значення параметра (мінімально допустимий радіус R_{min} і максимальні перехідні криві l_{max}), що забезпечує максимальну швидкість;

$$\Delta f_{\text{пк}} = \frac{125a^3}{4C_{\text{max}}}. \quad (2)$$

За формулами (1) і (2) визначено нормативні дані щодо влаштування кривих: $\Delta f_{\text{кр}}$ – різниця суміжних стріл вигину зовнішньої рейки в круглій кривій; $\Delta f_{\text{пк}}$ – найбільші відхилення від рівномірного зростання стріл на перехідних кривих (табл. 1).

Таблиця 1

Нормативні дані щодо влаштування кривих

Table 1

Regulatory data on the arrangement of curves

Показники	Значення номінальних відхилень (допусків) за максимальної швидкості руху, км/год				
	120	140	160	180	200
$\Delta f_{\text{кр}}$, мм	8	7	5	4	3
$\Delta f_{\text{пк}}$, мм	5	4	3	2	2

Згідно з рейко-шпало-баластовою картою, максимальна швидкість на ділянці км 1058...1063 для пасажирських поїздів становить 120 км/год, для вантажних – 80 км/год.

На залізницях форма перехідної кривої зберігається у вигляді радіоїдальної спіралі з лінійним відводом підвищення й кривизни [6]. Допустиму швидкість руху встановлюють за ЦП–0236 [10] залежно від крутизни відводу.

Для прикладу розглянуто криву, що знаходиться на непарній колії ділянки Славгород – Новогупалівка регіональної філії «Придніпровська залізниця», км 1058...1059. Вихідні дані

кривої отримано зйомкою стріл вигину від 20-метрової хорди та підвищення зовнішньої рейки в тих же точках кривої (рис. 1).

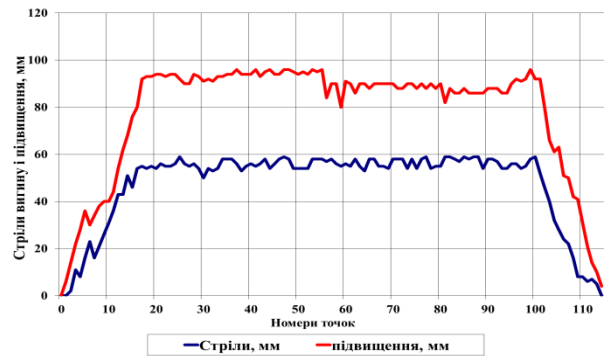


Рис. 1. Стріли вигину й підвищення зовнішньої рейки

Fig. 1. Versines and superelevations

Таблиця 2

Допустимі швидкості руху залежно від крутизни відводу підвищення зовнішньої рейки в кривій

Table 2

Permissible movement speeds depending on the steepness of superelevation tapping in a curve

Крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки, мм/м	Максимально допустима швидкість руху, км/год
до 0,67 включно	160
понад 0,67 до 0,7 включно	140
понад 0,7 до 1,0 включно	120
понад 1,0 до 1,2 включно	110
понад 1,2 до 1,4 включно	100

Відповідно до паспорта кривої, радіус наявної кривої складає 867 м, довжини перехідних кривих – 150 і 140 м, підвищення зовнішньої рейки – 95 мм. З урахуванням паспортних даних за табл. 1, різниця суміжних стріл вигину зовнішньої рейки в круглій кривій ($\Delta f_{\text{кр}}$) складає 8 мм, а найбільші відхилення від рівномірного зростання стріл на перехідних кривих ($\Delta f_{\text{пк}}$) – 5 мм.

Відповідно до вимог ЦП–0269 наведено аналіз стану дослідної кривої. Так, із рис. 2 випливає, що в межах перехідних кривих $\Delta f_{\text{пк}} >$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

$[\Delta f_{\text{ПК}}]$, тобто відхилення від рівномірного зростання стріл на перехідній кривій досягають 8–9 мм за допустимих 5 мм.



Рис. 2. Різниця суміжних стріл вигину: фактична й допустима

Fig. 2. The difference between adjacent versines: actual and permissible

Відповідно до ЦП–0236 [10], для швидкості руху 120 км/год максимально допустима крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки в кривій становить 1,0 мм/м (табл. 2). З аналізу рис. 3 випливає, що на перехідних і в круговій кривій мають місце перевищення ухилу 1,0 мм/м, що визначає стан кривої, який не забезпечує плавність і комфортабельність їзди.

Для визначення максимально допустимої швидкості руху по кривій необхідно мати достовірні вихідні дані. Під час підготовки наказу про допустимі швидкості використовують характе-

ристики кривих ділянок колії. Параметри кривих оновлюють щорічно вимірюванням величин стріл вигину та підвищення зовнішньої рейки.

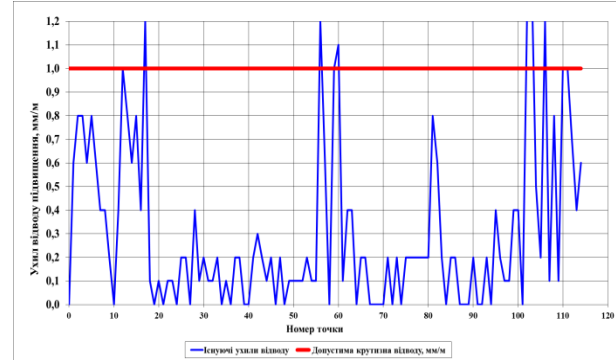


Рис. 3. Ухил відводу підвищення зовнішньої рейки в точках зйомки кривої

Fig. 3. The slope of the super-elevation tapping at the points of the curve shooting

За виміряними стрілами вигину визначають кут повороту, радіус і всі елементи кривої. Кут повороту можна розрахувати за формулою:

$$\alpha = \frac{114,6 \cdot \sum f}{1000 \cdot a}. \quad (3)$$

Величина кута повороту не залежить від радіуса кривої і ступеня її розладу та є постійною для цієї кривої. Контроль знімальних робіт кривої на перегоні Славгород – Новогупалівка, яка взята для прикладу, слід визнати незадовільним за результатами розрахунків, що наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення параметрів кривої і відповідна допустима швидкість руху

Table 3

The values of the curve parameters and the corresponding permissible speed

Параметри кривої і допустима швидкість	Значення параметрів кривої, отримані в різні роки				
	2017	2018	2019	2020	2021
Кут повороту	56°23'	64°09'	63°55'	58°53'	62°17'
Радіус, м	998	858	857	948	889
Довжина перехідної кривої, м	40	110	140	130	190
Кругова крива, м	892,04	825,62	821,07	839,36	816,35
Довжина перехідної кривої, м	140	160	130	140	110

Продовження табл. 3
Continuation of Table 3

Параметри кривої і допустима швидкість	Значення параметрів кривої, отримані в різні роки				
	2017	2018	2019	2020	2021
Підвищення зовнішньої рейки, мм	35	85	85	75	85
Сума зсувів	4 920	5 598	5 578	5 139	5 435

Примітка: параметри встановлені для умови, що крива однорядісна за зсувів у межах основної площадки земляного полотна до 200 мм.

Перевірка дотримання умови 2

Відповідно до вимог ЦП–0287 [9], під час реконструкції колії виконують виправлення кривих у плані з відновленням проектних радіусів та доведення довжин перехідних кривих до встановлених норм.

Оскільки наявні параметри кривої відрізняються від вищенаведених вимог (1–3), то розраховують раціональні параметри кривої для забезпечення встановленої максимальної швидкості пасажирських поїздів 120 км/год.

Для оптимізації проектного рішення із застосуванням програми RWPlan [4] використано критерій вартості робіт із перевлаштування плану лінії. При цьому враховувано витрати на рихтування, перекладання колії, додатковий баласт, перенесення контактної мережі і пристроїв СЦБ, додаткові об'єми відсіпання земляного полотна. Необхідність виконання тих чи інших додаткових робіт визначено програмно залежно від величини зсуву в цій точці кривої.

Урахування відповідних робіт із перебудови кривої виконано за формулою [7]:

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

де a_1, \dots, a_4 – витрати на зміщення осі наявної колії відповідно до 60, 61–120, 121–220 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 м³ баласту, ґрунту для розширення наявного земляного полотна та ґрунту для відсіпання земляного полотна на новій трасі; Q_8, \dots, Q_{10} – об'єм баласту, ґрунту для розширення наявного земляного полотна та ґрунту для відсіпання нового земляного полотна.

Під час рихтування колії на відстань більшу за 60 мм будуть виникати додаткові обсяги робіт, пов'язані з перенесенням контактної мережі та досипанням баласту. А якщо зсув перевищує задане значення (наприклад, a_4), то замість витрат на рихтування підраховують витрати на перекладання колії, перенесення контактної мережі і пристроїв СЦБ.

Об'ємно-вартісні показники за варіантами перебудови плану лінії наведено в табл. 4 і на рис. 4.

З аналізу даних табл. 4 і рис. 5 випливає, що раціональними параметрами кривої, яка забезпечує встановлену максимальну швидкість пасажирських поїздів 120 км/год, за мінімальної вартості перебудови (виправлення) наявної кривої є трирадіусна крива.

Під час перевлаштування кривих наявної колії слід брати постійні значення радіусів по всій довжині кругової кривої. У важких умовах, коли виконання цієї вимоги викликає необхідність перебудови наявного земляного полотна або штучних споруд, допустимо зберігати радіуси різних значень з урахуванням динаміки, тобто різниці у кривизні. Різниця у кривизні між першою і другою та другою і третьою кривими становить відповідно 1/61 683 і 1/64 971, що значно перевищує норматив 1/80 00 на лініях I–II категорій, 1/5 000 на лініях III–IV категорій, за яким не влаштовують перехідну криву між суміжними кривими.

Об'ємно-вартісні показники за варіантами

Table 4

Volume-cost indicators by variants

Радіус кривої, м	Перехідні криві, м	Підвищення рейки, мм	Максимальний зсув, мм	Сума зсувів, мм	Витрати, у. о.
R1 – 889	L1 – 190, L2 – 110	h1 – 85	$\Delta_{\max} \pm 277/178$	$\Sigma\Delta=1\ 1972$	3 679
R1 – 899, R2 – 879	L1 – 160, L2 – 80, L3 – 140	h1 – 80, h2 – 85	$\Delta_{\max} \pm 83/77$	$\Sigma\Delta=3\ 852$	731
R1 – 902, R2 – 889, R3 – 877	L1 – 160, L2 – 30, L3 – 40, L4 – 140	h1 – 80, h2 – 85, h3 – 85	$\Delta_{\max} \pm 47/61$	$\Sigma\Delta=1\ 876$	309

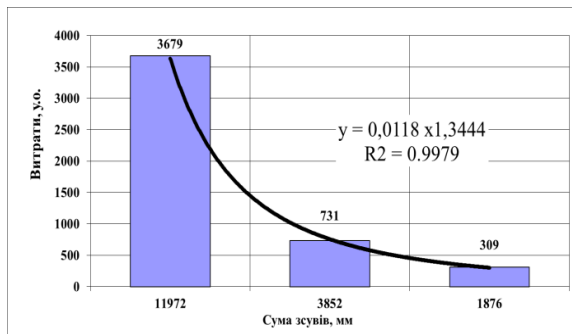


Рис. 4. Залежність витрат на встановлення кривої в проєктне положення від суми зсувів

Fig. 4. Cost dependence for setting the curve in the design position on the amount of shifts

Для наочності на рис. 5 наведено графіки зсувів, що відповідають одно-, дво- і трирадусній кривій.

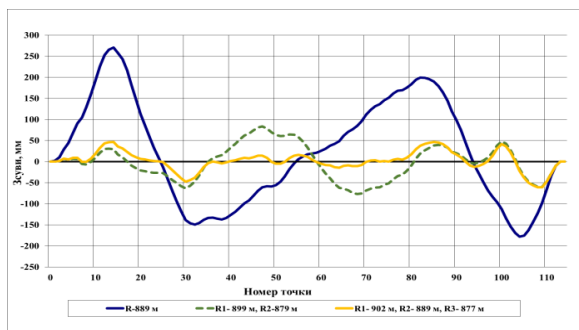


Рис. 5. Графіки зсувів для одно-, дво і трирадусної кривої

Fig. 5. Graphs of shifts for one-, two- and three-radius curves

Перевірка дотримання умови 3

Контрольованими величинами, за якими проводять оцінку фактичних параметрів кривої, є:

- величина горизонтального прискорення ($\alpha_{\text{гп}}$, м/с^2), розрахована по всій кривій за фактичними величинами кривизни та підвищенням зовнішньої рейки згідно з їх локальними відступами довжиною не менше 30 м;
- швидкість зміни непогашеного прискорення на ділянках змінної кривизни ($\psi^{\text{доп}}$, м/с^3);
- крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки ($i_{\text{в}}$, %) в перехідних кривих.

На рис. 6 наведені графіки непогашених прискорень і швидкість їх зміни вздовж кривої.

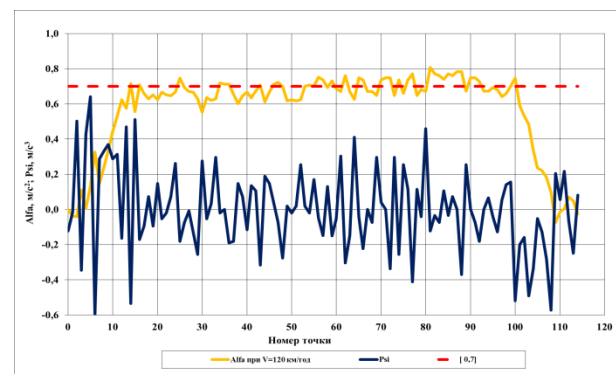


Рис. 6. Непогашені прискорення та швидкість їх зміни вздовж кривої

Fig. 6. Unbalanced accelerations and their rate of change along the curve

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Із графіків випливає, що за максимальної швидкості 120 км/год після виправлення кривої будуть забезпечені умови неперевищення непогашених прискорень $\alpha_{\text{нп}} \leq 0,7 \text{ м/с}^2$ і швидкості зміни непогашеного прискорення на ділянках змінної кривизни $\psi^{\text{доп}} \leq 0,6 \text{ м/с}^3$.

Організація швидкісного й високошвидкісного руху поїздів потребує системного підходу [19].

Серед завдань колійного господарства, які можуть бути вирішені за допомогою колієвимірювальних засобів, – паспортизація залізничної колії, забезпечення автоматизованих систем управління (АСУ) фактичною інформацією про стан об'єктів колії.

Колієвимірювальні засоби повинні контролювати, реєструвати й оцінювати основні параметри геометрії рейкової колії, до яких належать:

- ширина колії (звуження й розширення);
- положення рейкових ниток за рівнем (перекоси і плавні відхилення рівня);
- положення рейкових ниток у плані (горизонтальні стріли вигину від хорди довжиною 21,5 м у точці, розташованій на відстані 4,1 м від її кінця) – рихтування;
- просадки рейкових ниток у вертикальній площині (стріли вигину рейкових ниток від хорди довжиною 17 м у точці, розташованій на відстані 2,7 м від її кінця).

Довгохвильові нерівності в профілі й плані на ділянках обертання пасажирських поїздів зі швидкостями 140...200 км/год є додатковими факторами, що визначають необхідність проведення вимірювань параметрів фактичного стану залізничної колії – геометричних розмірів відступів від норм утримання рейкової колії в плані й поздовжньому профілі.

Вважають, що для оцінки стану колії найбільш доступною залишається стрічка колієвимірювального вагона. Але цей спосіб не застосовують для визначення точного геометричного положення кривих, оскільки він має низку обмежень [8]. Точність вимірів стріли в кривих ділянках колії колієвимірювальним вагоном типу КВЛ складає 1 мм в місці вимірювання, а точність оцінки пройденого шляху складає не більше 1:500. Асиметрична схема вимірювання

(17:4,1) не дозволяє правильно оцінювати складні ділянки плану, що вносить істотну невизначеність під час розрахунків кривизни в точках колії. На графіку кривизни положення перехідних кривих зміщується щодо істинного, а прямі вставки довжиною до 50 м можуть узагалі зникати. Це призводить до необхідності виправлення кривих методом «згладжування», який не гарантує постановки кривих у правильне проектне положення.

Якщо після оцінки стану колії колієвимірювальним вагоном встановлено, що потрібне виправлення чи перебудова кривих, то пропонують таку послідовність виконання робіт [17]:

1. Проведення натурного обстеження та зйомка фактичних параметрів кривих, наприклад, методом стріл.

2. Розрахунок оптимальних параметрів кривих.

3. Визначення обсягів перебудови плану лінії і підготовка завдання на виконання виправлювальних робіт.

4. Виправлення (перебудова) кривих у разі машинізованого поточного утримання колії й ремонтних робіт на основі затвердженого проекту.

5. Зйомка фактичних характеристик плану лінії після виправлення кривих.

6. Оцінка відповідності фактичних характеристик план паспортним значенням.

7. Затвердження паспорта кривої, якщо відповідність характеристик (п. 6) встановлена, якщо ні – перехід до п. 4.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі набули подальшого розвитку наукові підходи до оцінки стану кривих, визначенню їх раціональних параметрів і допустимої швидкості руху на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів в Україні.

Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо поліпшення плавності руху поїздів, підвищення швидкості й рівня комфортабельності їзди в кривих ділянках колії, особливо на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів.

Висновки

Проведений аналіз складних ділянок плану залізниці показав, що після виконання розрахунків відповідно до викладеної методики та оптимізації параметрів кривих (з урахуванням вартості їх перебудови) можна підвищити швидкість у кривих і скоротити час руху поїздів.

Аналогічний аналіз слід провести по всіх кривих на напрямках швидкісного руху за методикою ЦП–0236 в повному обсязі, що дозволить отримати додаткове скорочення часу руху й уникнути неточностей, які виникають під час спрощених розрахунків.

Для всіх кривих, що обмежують швидкість руху, а також тих, які утримують із відступами відповідно до вимог інструкції ЦП–0269, необхідно провести натурне обстеження з виконанням повного циклу розрахунків для їх паспортизації.

Паспортизація кривих, розташованих на головних напрямках залізниць України, дозволить встановити такі характеристики:

- кількість ділянок різного радіуса й величини раціональних радіусів у плані, максимально наближені до фактичних обрисів кривої;

- довжину перехідних кривих, що забезпечує необхідні для встановленої швидкості руху відводи по кривизні й підвищення зовнішньої рейки;

- раціональне підвищення зовнішньої рейки, величина якого відповідає встановленим критеріям за непогашеним прискоренням для пасажирських і вантажних поїздів.

Паспортизація кривих буде сприяти зниженню інтенсивності розладів залізничної колії, зменшенню трудовитрат на утримання колії в плані, підвищенню плавності й комфортабельності їзди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабенко А. І., Курган Д. М., Черняков М. М. Встановлення допустимої швидкості на складних ділянках плану залізниці з урахуванням комфортабельності їзди. *Транспортні системи і технології*. 2012. Вип. 21. С. 9–15.
2. Байдак С. Ю. *Раціональні параметри кривих для впровадження швидкісного руху* : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Дніпро, 2020. 23 с.
3. Даниленко Е. І., Орловський А. М., Курган М. Б., Яковлев В. О. *Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269*. Київ : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. 456 с.
4. Корженевич І. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPPlan 1.2. *Залізничний транспорт України*. 2007. № 5. С. 79–82.
5. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Дослідження впливу стану залізничної колії в плані на плавність і безпеку руху поїздів. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2017. № 14. С. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.15802/ecsrt2017/137797>
6. Курган М. Б., Курган Д. М. *Теоретичні основи впровадження високошвидкісного руху поїздів в Україні* : монографія. Дніпро : Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2016. 283 с.
7. Курган М. Б., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на ділянках складного плану залізниці. *Наука та прогрес транспорту*. 2014. № 2 (50). С. 83–94. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2014/23760>
8. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Дослідження параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 2 (74). С. 77–86. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/129585>
9. *Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України : ЦП-0287* [Чинний від 2014-11-03]. Київ, 2015. 45 с.
10. *Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії : ЦП-0236* [Чинний від 2010-12-14]. Київ, 2010. 52 с.
11. Fischer S. Comparison of railway track transition curves. *Pollack Periodica*. 2009. Vol. 4. Iss. 3. P. 99–110. DOI: <https://doi.org/10.1556/pollack.4.2009.3.9>
12. Fischer S. Investigation of the Horizontal Track Geometry regarding Geogrid Reinforcement under Ballast. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2022. Vol. 19. Iss. 3. P. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.8>

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

13. Jamka M., Lisowski S., Strach M. Zastosowanie współczesnych technologii geodezyjnych w określaniu geometrii toru w aspekcie dopuszczalnych prędkości pociągów. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria : Materiały Konferencyjne* (Zakopane, 02-04.12.2009). Kraków, 2009. Nr 91, z. 149. s. 567–581.
14. Koc W. Analysis of the Effectiveness of Determining the Horizontal Curvature of a Track Axis Using a Moving Chord. *Problemy Kolejnictwa – Railway Reports*. 2021. Vol. 65. Iss. 190. P. 77–86.
15. Koc W. The method of determining horizontal curvature in geometrical layouts of railway track with the use of moving chord. *Archives of Civil Engineering*. 2020. Vol. 66. Iss. 4. P. 579–591.
16. Koc W. New transition curve adapted to railway operational requirements. *Journal of Surveying Engineering*. 2019. Vol. 145. Iss. 3. P. 04019009-1–04019009-11.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)su.1943-5428.0000284](https://doi.org/10.1061/(asce)su.1943-5428.0000284)
17. Kurhan D., Havrylov M. Mathematical Support of Machine Surfacing for the Railway Track. *Acta Technica Jaurinensis*. 2020. Vol. 13, № 3. P. 246–267. DOI: <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v13.n3.556>
18. Lebid I., Kravchenya I., Dubrovskaya T., Luzhanska N., Berezovyi M., Demchenko Y. Identification of the railway reconstruction parameters at imposition of high speed traffic on the existing lines. *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 294. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929405003>
19. Pshinko O., Kurhan M., Patlasov O. Основные направления развития транспортной инфраструктуры при внедрении скоростного движения на железных дорогах Украины. *Proceedings of the V Georgian-Polish International Scientific-Technical Conference «Transport Bridge Europe-Asia»*. (Kutaisi, oct. 15–17 2019). Kutaisi, 2019. С. 85–90.
20. Sasidharan M., Burrow M., Ghataora G., Marathu R. A risk-informed decision support tool for the strategic asset management of railway track infrastructure. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F : Journal of Rail and Rapid Transit*. 2022. Vol. 236. Iss. 2. P. 183–187.
DOI: <https://doi.org/10.1177/09544097211038373>
21. Shvets A. O., Bolotov O. V., Percevoj A. K., Ghlukhov V. V., Bolotov O. O., Saparova L. S. Research of dynamic indicators and influence of different types of rolling stock on railway track. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 985. P. 1–10.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012010>

M. B. KURHAN^{1*}, D. M. KURHAN², S. Y. BAIDAK³, N. P. KHMELEVSKA⁴, R. B. NOVIK⁵

^{1*}Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

²Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

⁵Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail rus.novik.1980@gmail.com, ORCID 0000-0002-2571-6641

Reduction of Railway Disorders Intensity Due to Improvement of Line Plan Parameters During Passportization of Curves

Purpose. The work is aimed to reduce the intensity of the track disorder by improving the line plan parameters, ultimately ensuring the safety, smoothness and comfort of driving in the directions of high-speed train traffic. **Methodology.** To obtain initial data on the parameters of the plan of existing railways, the authors reviewed the world literature on the topic of the study, as well as monitored the railway track operation on the basis of technical passports of track distances. It is known that the accepted mathematical models of the existing plan use the assumption that three adjacent points of the curve lie on a circle. On this principle, the work of flattener machine for switches is based. As a result of corrective works to reduce the amount of shifts, the curve does not correspond to the initial passport data. The methodology involves the analysis and systematization of data to establish appropriate dependencies and build graphs. **Findings.** Inaccurate determination of the curve parameters results in unjustified speed restrictions on or large volumes of flattening works. Therefore, the proposals have been developed to reduce the intensity of track disorders

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

by bringing the curve parameters to the regulatory requirements in force in Ukraine in the areas of high-speed train traffic. They follow from the analysis of the method of shooting curves used in track distances. The influence of accuracy of the obtained data on the establishment of the curve parameters and the permissible train speeds is identified. The recommendations received in the work will contribute to the effectiveness of design decisions, will determine the quality of the railway reconstruction project. **Originality.** Scientific approaches to estimating the state of curves, determining their rational parameters and permissible speed in the areas of high-speed train traffic in Ukraine have been further developed. **Practical value.** The obtained results will be useful for measures to improve the smoothness of train movement, increasing the speed and comfort of driving in the curved track sections, especially in the areas of high-speed train traffic.

Keywords: high-speed train traffic; methods of shooting curves; curve parameters; measurement errors; permissible train speed; driving smoothness; ride comfort

REFERENCES

1. Babenko, A. I., Kurhan, D. M., & Cherniakov, M. M. (2012). Vstanovlennia dopustymoi shvydkosti na skladnykh diliankakh planu zaliznytsi z urakhuvanniam komfortabelnosti yizdy. *Transport Systems and Technologies*, 21, 9-15. (in Ukrainian)
2. Baidak, S. Yu. (2020). *Rational Curves Parameters for the Introduction of High-Speed Train Traffic* (Extended abstract of PhD dissertation). Dnipro. (in Ukrainian)
3. Danylenko, E. I., Orlovskiy, A. M., Kurhan, M. B., & Yakovliev, V. O. (2012). *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy: CP-0269*. Kyiv: TOV «NVP Polihrafservis». (in Ukrainian)
4. Korzhenevych, I. P. (2007). New possibilities for designing plan redevelopment and correction of curves when using the program RWPlan 1.2. *Railway transport of Ukraine*, 5, 79-82. (in Ukrainian)
5. Kurhan, M. B., Kurhan, D. M., Baidak, S. Yu., & Khmelevska, N. P. (2017). Investigation of the influence of the state of the railway track in terms of softness and safety of trains. *Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 14, 94-101. DOI: <https://doi.org/10.15802/ecsrt2017/137797> (in Ukrainian)
6. Kurhan, M. B., & Kurhan, D. M. (2016). *Teoretychni osnovy vprovadzhennia vysokoshvydkisnoho rukhu poizdiv v Ukraini: monohrafiia*. Dnipro. (in Ukrainian)
7. Kurhan, M. B., Baidak, S. Yu., & Khmelevska, N. P. (2014). Methodology of determination of admissible speeds of train movement on difficult sections of railroad plan. *Science and Transport Progress*, 2(50), 83-94. (in Ukrainian)
8. Kurhan, M. B., Kurhan, D. M., Baidak, S. Yu., & Khmelevska, N. P. (2018). Research of railway track parameters in the plan based on the different methods of survey. *Science and Transport Progress*, 2(74), 77-86. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/129585>. (in Ukrainian)
9. *Polozhennia pro provedennia planovo-zapobizhnykh remontno-koliinykh robit na zaliznytsiakh Ukrainy, 45 TsP-0287 (2015)*. (in Ukrainian)
10. *Pravyla vyznachennja pidvyshhennja zovnishnjoji rejky i vstanovlennja dopustymykh shvydkostej v kryvykh diljankakh koliji, 52 TsP-0236 (2011)*. (in Ukrainian)
11. Fischer, S. (2009). Comparison of railway track transition curves. *Pollack Periodica*, 4(3), 99-110. (in English)
12. Fischer, S. (2022). Investigation of the Horizontal Track Geometry regarding Geogrid Reinforcement under Ballast. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19(3), 89-101. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.8> (in English)
13. Jamka, M., Lisowski, S., & Strach, M. (2009). Application of modern geodesic technologies in determining the track geometry in the aspect of permissible train speeds. In *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inzynierow i Technikow Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddzial w Krakowie, seria: Materialy Konferencyjne* (Nr 91, z. 149. s. 567-581). Zakopane, Poland. (in Polish)
14. Koc, W. (2021). Analysis of the Effectiveness of Determining the Horizontal Curvature of a Track Axis Using a Moving Chord. *Problemy Kolejnictwa – Railway Reports*, 65(190), 77-86. (in English)
15. Koc, W. (2020). The method of determining horizontal curvature in geometrical layouts of railway track with the use of moving chord. *Archives of Civil Engineering*, 66(4), 579-591. (in English)
16. Koc, W. (2019). New transition curve adapted to railway operational requirements. *Journal of Surveying Engineering*, 145(3), 04019009-1-04019009-11. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)su.1943-5428.0000284](https://doi.org/10.1061/(asce)su.1943-5428.0000284) (in English)
17. Kurhan, D., & Havrylov, M. (2020). Mathematical Support of Machine Surfacing for the Railway Track. *Acta Technica Jaurinensis*, 13(30), 246-267. DOI: <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v13.n3.556> (in English)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

18. Lebid, I., Kravchenya, I., Dubrovskaya, T., Luzhanska, N., Berezovyi, M., & Demchenko, Y. (2019). Identification of the railway reconstruction parameters at imposition of high speed traffic on the existing lines. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 294, pp. 1-7). DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929405003> (in English)
19. Pshinko, O., Kurhan, M., & Patlasov, O. (2019). Osnovnyie napravleniya razvitiya transportnoy infrastrukturyi pri vnedrenii skorostnogo dvizheniya na zheleznyih dorogah Ukrainyi. In *Proceedings of the V Georgian-Polish International Scientific-Technical Conference «Transport Bridge Europe-Asia»* (pp. 85-90). Kutaisi, Georgia. (in Russian)
20. Sasidharan, M., Burrow, M., Ghataora, G., & Marathu, R. (2022). A risk-informed decision support tool for the strategic asset management of railway track infrastructure. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* (Vol. 236, Iss. 2, pp. 183-187). DOI: <https://doi.org/10.1177/09544097211038373> (in English)
21. Shvets, A. O., Bolotov, O. V., Percevoj, A. K., Ghlukhov, V. V., Bolotov, O. O., & Saparova, L. S. (2020). Research of dynamic indicators and influence of different types of rolling stock on railway track. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 985, Iss. 1, pp. 1-10). DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012010> (in English)

Надійшла до редколегії: 11.08.2021

Прийнята до друку: 10.12.2021