

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 625.173.2:[625.171+629.464.47]

М. Б. КУРГАН¹, Д. М. КУРГАН^{2*}, С. Ю. БАЙДАК³, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА⁴

¹Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*}Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ У ПЛАНІ ЗА РІЗНИМИ МЕТОДАМИ ЗЙОМКИ

Мета. Основною метою даної роботи є аналіз існуючих методів зйомки кривих у плані, дослідження впливу помилок вимірювання параметрів плану на допустимі швидкості руху поїздів, розробка пропозицій щодо зниження інтенсивності розладу колії за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог, що діють в Україні на напрямках впровадження прискореного й швидкісного руху поїздів. Проблема перебудови кривих не була такою гострою, поки не з'явилася необхідність підвищення швидкостей руху та моніторингу технічного стану плану колії. Недостовірне визначення параметрів кривих призводить до необґрунтованого обмеження швидкості руху або до великих обсягів рихтувальних робіт. **Методика.** Використана в роботі методика передбачає всебічне і детальне вивчення різних способів зйомки залізничних кривих, спрямоване на розробку та впровадження оптимальних рішень щодо плану залізничної колії. На сьогодні існують різні можливості для зйомки натурної геометрії залізничної колії. Для проведення досліджень на значній кількості ділянок та за тривалий термін експлуатації найбільш зручним, перш за все, враховуючи регулярність заїздів, залишається стрічка колієвимірювального вагону. Однак, цей спосіб використовується для оцінки стану залізничної колії, а не для визначення точного геометричного положення. Так, при спробі визначити за колієвимірювальною стрічкою дійсні обриси нерівностей колії виникає низка складностей. При побудові математичної моделі існуючого плану використовується припущення: приймається, що три суміжні точки кривої лежать на колі. На такому принципі побудована робота виправно-підбивно-рихтувальних машин. У результаті виправних робіт із метою зменшення обсягів зсувів крива не відповідає вихідним паспортним даним. **Результати.** Наслідки роботи впливають із аналізу різних підходів і способів зйомки плану лінії, впливу параметрів кривих на встановлення допустимої швидкості руху поїздів. Отримані в роботі рекомендації сприятимуть ефективності проектних рішень, визначатимуть якість проекту реконструкції в цілому і доцільність його реалізації зокрема. **Наукова новизна.** Набули подальшого розвитку наукові підходи щодо оцінки стану кривих, визначення їх параметрів та допустимої швидкості руху поїздів. Доповнена система критеріїв оцінки стану кривих, що впливають на накопичення розладів колії в плані. **Практична значимість.** Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо підвищення швидкості, поліпшення плавності руху поїздів та підвищення рівня комфортабельності їзди на кривих ділянках колії, особливо на напрямках впровадження прискореного й швидкісного руху поїздів.

Ключові слова: швидкісний рух поїздів; методи зйомки кривих; параметри кривих; похибки вимірювання; перехідна крива; кругова крива; допустима швидкість руху поїзда

Вступ

Методи, які використовуються сьогодні на дистанціях колії для визначення фактичних параметрів кривих не досконалі, так як в кінцевий результат привноситься суб'єктивність, кваліфікація виконавця та інші фактори. Геометричні параметри кривих, зазначені на поздовжньому профілі, часто не відповідають фактичним даним. Для виконання робіт з приведення кривих до проектного положення та для визначення їх геометричних параметрів повинні бути вирішені такі питання: яким способом проводити зйомку кривих і яка інформація є вичерпною щодо фактичного стану кривих; яким методом виконувати розрахунки з виправки кривих; які реальні параметри кривих (радіуси, довжина перехідних кривих і прямих вставок між кривими, підвищення зовнішньої рейки, можливі розбіжності відводів підвищення зовнішньої рейки та кривизни) впливають на встановлення допустимої швидкості руху [10, 12].

Проблема не була такою гострою, поки не з'явилася необхідність підвищення швидкостей руху та моніторингу технічного стану плану колії [11, 15]. Недостовірне визначення параметрів кривих приводить до необґрунтованого обмеження швидкості руху або до великих обсягів рихтувальних робіт.

Мета

Метою даної роботи є дослідження впливу помилок вимірювання параметрів плану лінії на рівень допустимої швидкості руху поїздів та розробка пропозицій щодо зниження інтенсивності розладу колії за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог.

Методика

Сьогодні відомі діагностичні комплекси, які дозволяють здійснювати діагностику об'єктів інфраструктури безконтактним способом із застосуванням оптичних лазерних датчиків зі швидкістю до 160 км/год. При цьому може проводитися вимір додаткових параметрів – контроль поздовжнього профілю, габариту наближення, зносу рейок, коротких нерівностей, вертикальних і горизонтальних прискорень тощо. Крім того, проводиться відеоспостережен-

ня за всіма об'єктами (колією, контактним дротом, опорами контактної мережі і т.д.) камерами з високою роздільною здатністю і прив'язкою до колійної координати, що дозволить отримувати додаткову інформацію про стан об'єктів. Планувалося, починаючи з 2014 року, придбати діагностичний комплекс на кожну залізницю для проведення дослідних випробувань, розробки необхідних нормативів з динамічного впливу рухомого складу на колію для оцінки ефективності їх подальшого впровадження [8], але плани залишились нездійсненими.

Удосконалення методів визначення параметрів плану колії триває, чому сприяють сучасні технічні досягнення, наприклад, такі як супутникова зйомка [16]. Найпростішим джерелом отримання даних про криві ділянки колії на сьогоднішній день є колієвимірювальна стрічка, на якій інформація записана безупинно. Але асиметрія вимірювальної схеми приводить до того, що на графіку кривизни колії положення перехідних кривих зміщується від істинного, а короткі прямі вставки можуть узагалі зникати. Це приводить до необхідності застосування методів «згладжування», які не гарантують постанову кривих у геометрично правильне положення.

Спроби отримати дані за стрічкою колієвимірювача про стан кривих та їхні параметри робилися неодноразово. Так, у роботі [9] розглядалася можливість використання даних стрічок колієвимірювальних вагонів, мотивуючи це тим, що на практиці для оцінки стану кривих найчастіше використовуються паспортні дані, які не завжди відображають дійсні параметри кривих.

При побудові математичної моделі існуючого плану використовується математична модель з низкою припущень: так, вважається, що три сусідні точки кривої лежать на колі. На такому принципі – методі «згладжування» побудована робота виправочно-підбивочно-рихтувальних машин (ВІПР). У результаті виконання рихтувальних робіт з метою зменшення обсягів зсувів крива не відповідає вихідним паспортним даним, з однорадіусної може стати багаторадіусною (складеною) [10].

Досліджуючи резерви підвищення швидкості руху, проф. М. Ф. Веріго звернув увагу на те, що розрахунки виконуються для екіпажів, що рухаються не по реальній, а по ідеальній

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

кривій, і запропонував увести в практику встановлення допустимих швидкостей для кожного конкретного типу екіпажу за такими параметрами як значення напружень в елементах конструкції, значення динамічних сил взаємодії колії й рухомого складу та їх співвідношення [1]. Аналогічні пропозиції наведені в роботі [13]. Однак, дотримання критеріїв міцності та стійкості колії, за якими встановлюються умови обертання рухомого складу [5], не виключає виходу з ладу окремих елементів верхньої будови колії і, головне, не обмежує інтенсивність накопичення розладів і зношування колії. Отже, виникає необхідність в оцінці інтенсивності наростання залишкових деформацій. Якщо таке питання постало на порядку денному, то виникає й наступне, пов'язане з оцінкою впливу геометричних параметрів колії на її деформативність, яка також залежить від параметрів кривих. Так, неправильно встановлене підвищення зовнішньої рейки призводить до зсувів колії, розладів ширини колії, прискорення бічного зносу рейок. Створення багаторадіусних кривих замість однорадіусних з метою зменшення обсягу зсувів при рихтуванні не тільки швидше дестабілізує колію, але й викликає появу численних перехідних зон, які при неправильному улаштуванні представляють загрозу безпеці руху поїздів [4].

Результати

Спосіб вимірювання стріл в середині 20-метрової хорди. Для порівняння натурального положення кривої з проектним на кожен криву складається технічний паспорт. Наведемо аналіз паспортних даних однієї з кривих на ділянці Синельникове – Чаплине, 251–255 км на непарній колії, за період з 2013 по 2016 роки. Графіки натурних стріл вигину представлено на рис. 1.

Паспортні характеристики кривої (кривизна, підвищення зовнішньої рейки, довжина перехідних кривих) повинні забезпечувати для заданого рівня швидкості оптимальну величину непогашених прискорень $\alpha_{\text{нп}}$, швидкості їх зміни $\psi = \alpha_{\text{нп}}/dt$ і відведення підвищення зовнішньої рейки (h) за довжиною перехідної кривої (l); $i = dh/dl$.

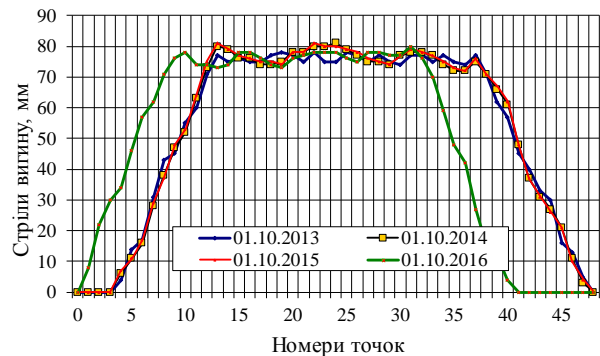


Рис. 1. Графіки натурних стріл вигину кривої в різні роки

Fig. 1. Graphs of actual bends deflection of curve in different years

Оцінка відступів у плані виконувалася за показниками колієвимірювальних вагонів відповідно до норм утримання рейкової колії ЦП-0267 [7].

За даними паспорта для кривої, що наведені на рис. 1 (період 2013–2016 рр.), були виконані розрахунки показників руху, результати яких наведено на рис. 2.

За даними паспорту кривої в табл. 1 наведено параметри кривої і підрахована сума стріл вигину.

Загальний кут повороту кривої $\alpha_{\text{рад}}$ повинен залишатись однаковим, незалежно від того правильно улаштована крива чи має зсуви назовні й усередині, і дорівнювати

$$\alpha_{\text{рад}} = \frac{2}{a} \sum_{i=1}^N f_i \quad (1)$$

або

$$\alpha_{\text{рад}} = \frac{2}{a} S_{\text{вим}} \quad (2)$$

Оскільки крива розбита на відрізки однакової довжини a , то сума стріл $S_{\text{вим}}$ повинна бути однаковою. Фактично ж сума стріл не постійна (табл. 1).

Згідно з [2] найбільш імовірно відхилення суми обмірюваних стріл від дійсної суми дорівнює

$$|\Delta S_{\text{вим}}| = \tau \sqrt{N}, \quad (3)$$

де τ – точність виміру кожної стріли; $\tau = 1-1,5$ мм; N – кількість точок кривої.

Таблиця 1

Параметри розрахункової кривої

Table 1

Parameters of the calculated curve

Найменування показника	Параметри кривої у відповідні роки			
	2013	2014	2015	2016
Радіус кривої, м	656	649	647	656
Довжина кругової кривої, м	242,83	240,60	240,46	240,00
Довжина першої перехідної кривої, м	90	90	90	90
Довжина другої перехідної кривої, м	110	110	110	70
Підвищення, мм	100	100	100	100
Сума стріл $S_{\text{вим}}$, мм	2 613	2 624	2 641	2 439
Кут повороту $\alpha_{\text{град}}$	29°56'	30°04'	30°16'	27°56'

При $N=48$ для наведеної кривої $|\Delta S_{\text{вим}}|=10$ мм. Фактична різниця між сумами стріл двох різних вимірів (див. табл. 1) значно більше допустимої, що викликає сумніви в якості вихідних даних.

Похибка у визначенні кута повороту в мінутах залежить від точності вимірювання стріл і кількості точок кривої:

$$\Delta\alpha_{\text{хвил}} = \frac{60\pi 10^3 \tau \sqrt{N}}{2 \cdot 180a}. \quad (4)$$

Після підстановки значень отримаємо $\Delta\alpha_{\text{хвил}}=3,4'$. Фактична похибка перевищує допустиму (див. табл. 1).

Визначення параметрів кривих по стрічці колієвимірювального вагону. У деяких роботах, наприклад [8], звертається увага на те, що визначити фактичний радіус кривої колії, підвищення положення зовнішньої рейки, довжину перехідної кривої за записами на стрічці коліє-

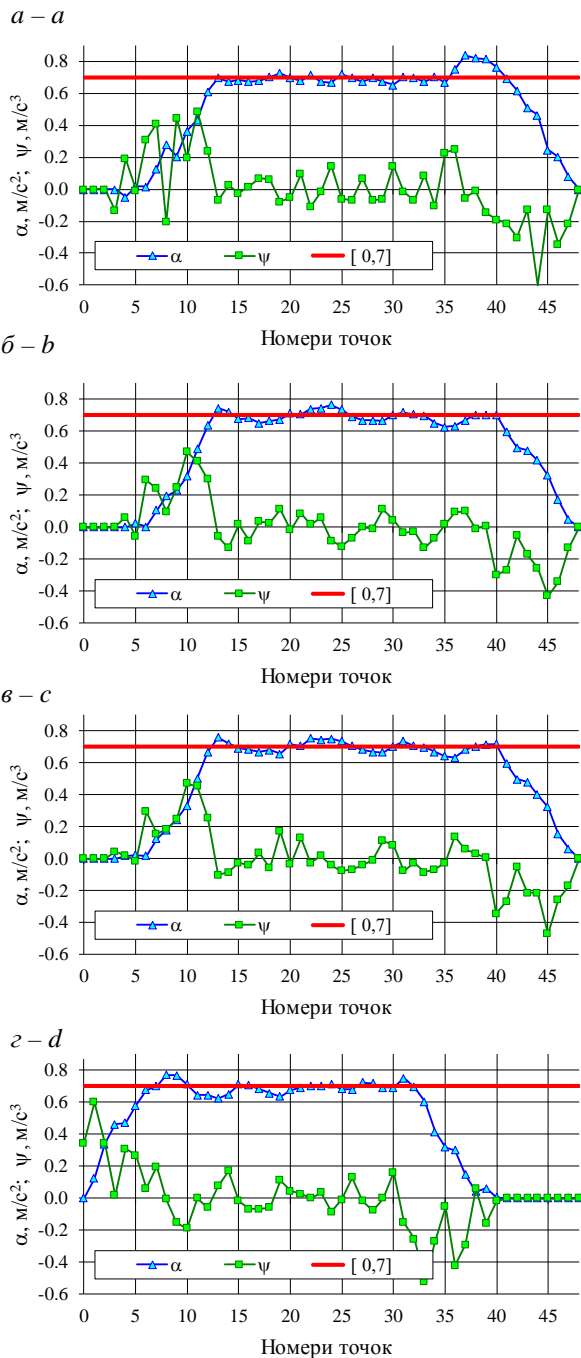


Рис. 2. Непогашені прискорення ($\alpha_{\text{нп}}$) та зміна прискорень у часі (ψ):
а – 2013 р., б – 2014., в – 2015 р., г – 2016 р.

Fig. 2. Unbalanced accelerations (α_{ua}) and accelerations change in time (ψ):
а – 2013 р., б – 2014., в – 2015, д – 2016.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

вимірювального вагону непросто. Особливо складно знайти радіус кругової кривої й поточних значень кривизни в межах перехідної колії.

Якщо розглядати геометрично правильну криву, то задача зводиться до того, щоб знайти перехід від стріли вигину f_a , яка заміряна колієвимірювачем від заднього кінця хорди a (для КВЛ це 4,109 м), при її довжині A (для КВЛ $A=21,495$ м), до стріли $f_{l/2}$, яка заміряна всередині хорди на відстані $l=20$ м, прийнятої при ручних вимірах (рис. 3):

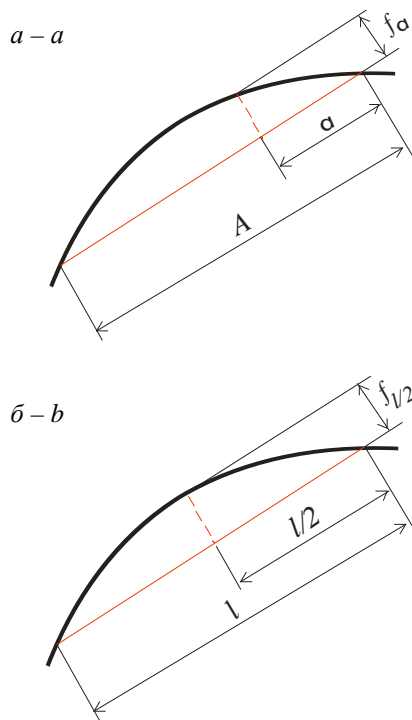


Рис. 3. Положення хорди:
 a – колієвимірювальний вагон; b – ручні виміри

Fig. 3. Chord position:
 a – track-measuring car; b – manual measurements

$$f_{l/2} = f_a k_1 k_2 m, \quad (5)$$

де k_1 – коефіцієнт переходу від стріли, вимірюваної на відстані від кінця хорди a , до стріли, вимірюваної в середині хорди, в межах кругової кривої:

$$k_1 = \frac{A^2}{4a(A-a)}, \quad (6)$$

де k_2 – коефіцієнт переходу від стріли, вимірюваної в середині хорди довжиною A до стріли в середині хорди довжиною l :

$$k_2 = \frac{l^2}{A^2}, \quad (7)$$

де m – масштаб запису на колієвимірювальній стрічці.

При розташуванні колієвимірювального вагону в межах перехідної кривої чи частково на ній, а частково на круговій кривій коефіцієнт k_1 не має однозначного визначення. Також формула (5) стає недійсною при наявності відхилень від геометрично вірного положення кривої [14].

Для попередніх розрахунків за записом, підвищення зовнішньої рейки і стріли вигину на стрічці колієвимірювача усереднюють. У цьому випадку точність визначення геометричних параметрів кривих залежить від того, наскільки правильно будуть побудовані середні лінії за записами на стрічці колієвимірювального вагона.

Отримані в результаті розшифровки колієвимірювальної стрічки характеристики дослідної кривої наведені на рис. 4.

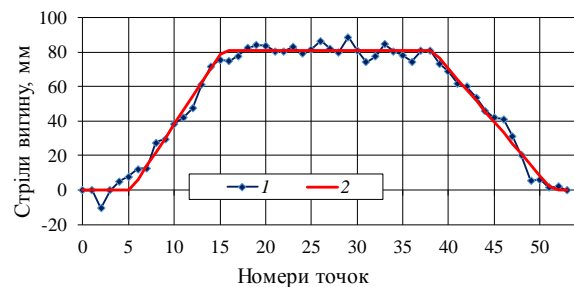


Рис. 4. Стріли вигину існуючої й проектної кривої:
 1 – існуюче положення; 2 – проектне

Fig. 4. Bends deflection of the existing and design curve:

1 – existing position; 2 – design position

Результати розрахунків (графіки непогашених прискорень та зміни цих прискорень у часі) представлено на рис. 5.

Визначення параметрів кривих способом Гонікберга. Зйомка кривої виконується ділянками довжиною, як правило 100 м, (за виключенням першої й останньої), шляхом виміру теодолітом кутів повороту між променями візування і стрілами вигину за рейкою, горизонтально покладеною на рейку. Вважається, що достатня для практичних цілей точність досягається при зйомці кривої не рідше ніж через 20 метрів.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

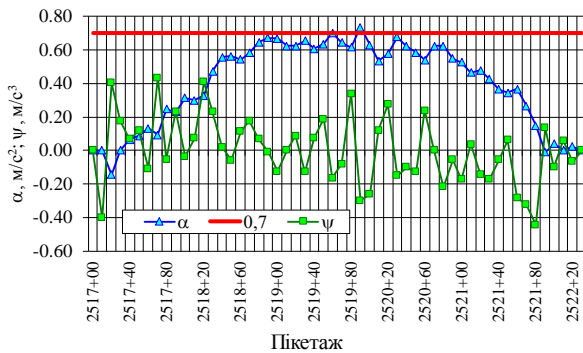


Рис. 5. Непогашені прискорення (α_{np}) та зміна прискорень у часі (ψ)

Fig. 5. Unbalanced accelerations (α_{ua}) and accelerations change in time (ψ)

Як впливає з табл. 2, допустимі швидкості для кривої за даними зйомки за способом стріл, колієвимірювальним вагоном й способом Гонікберга різні. Вони встановлені для однієї й тієї ж кривої за методикою [6]. Причина обмеження швидкості в першому випадку (за способом стріл) – крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки (100 км/год), у другому (за даними колієвимірювальної стрічки) – за критерієм непогашених прискорень (100 км/год) і в третьому (спосіб Гонікберга) – за крутизною відводу підвищення (90 км/год).

З цього й іншого прикладів впливає, що для правильного вирішення питань реконструкції колії й колійних споруд з метою забезпечення на внутрішніх транспортних коридорах швидкості 140–160 км/год необхідно провести на сучасному рівні роботи з паспортизації кривих і встановлення реальної допустимої швидкості руху по них.

Наукова новизна та практична значимість

Враховуючи результати проведеного дослідження, можна констатувати, що на сьогоднішній день існує багато способів, які використовуються для виміру параметрів і стану кривих. Саме вже існування різних способів, що мають практичне застосування, говорить про те, що кожен з них має свої як позитивні, так і негативні якості. Тому для вибору того чи іншого способу треба мати як статистичне, так і математичне обґрунтування.

При виконанні зйомки кривих різними способами – способом стріл (за паспортами кривих дистанцій колії), способом Гонікберга (за планом лінії на поздовжньому профілі), при зйомці плану колії колієвимірювальними вагонами – отримані результати відрізняються між собою. Встановлено, що точність результатів залежить не тільки від параметрів вимірювальних приладів і вміння виконавців, але й від самої методики, яка визначає технологію вимірювання і виконання розрахунків. Це питання стало особливо актуальним при реконструкції плану лінії для впровадження швидкісного руху.

Таблиця 2

Значення параметрів кривої і відповідна допустима швидкість руху

Table 2

Values of the curve parameters and the corresponding permissible speed of movement

Параметр кривої і допустима швидкість руху	Значення параметрів кривої, що отримані різними способами вимірювання			
	спосіб стріл	колієвимірювальна стрічка	спосіб Гонікберга	
Кут повороту, град	27° 56'	31° 58'	30° 11'	
Радіус, м	656	620	660	
Перша перехідна, м	90	100	60	
Кругова, м	240,00	230,68	347,69	
Друга перехідна, м	70	130	60	
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100	90	100	
Обмеження швидкості:	106	100	106	
				– за α_{np}
				– за ψ
– за i	124	132	120	
Допустима швидкість руху, км/год	100	100	90	

Висновки

1. Обмеження швидкості, що встановлені за наказом начальника залізниці, не завжди відповідають реальному стану кривих. Цей факт можна пояснити тим, що в дистанціях колії розрахунки виконуються за спрощеною схемою, не в повному обсязі, як того вимагають Правила ЦП-0236. При заїздах вагонів КВЛ основна увага приділяється трьом параметрам – радіусу колії, підвищенню зовнішньої рейки й крутизні його відводу. Фактично при визначенні максимально допустимої швидкості не враховуються параметри сполучення, які повинні визначатися для суміжних і складених кривих.

2. В умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих колії і прямих вставок між суміжними кривими, а тому при встановленні максимально допустимої швидкості руху на складних ділянках плану залізниці слід приділяти більше уваги суміжним кривим, які підпадають під категорію залежних, тобто таких, коли одна впливає на умови руху поїзда по іншій.

3. Аналіз вихідних даних, отриманих різними способами зйомки плану лінії, показав, що для визначення максимально допустимої швидкості необхідно мати достовірну інформацію про параметри й стан кривих. Перед проведенням реконструкції залізничних напрямків для підвищення швидкості руху поїздів, а тим більше для впровадження швидкісного руху, необхідно проведення паспортизації кривих.

4. Як показала практика, часто використовуються застарілі дані про план лінії, а криві розглядаються як геометрично плавні, без урахування відступів в їх утриманні. Невірогідність інформації може істотно відобразитися на результатах розрахунків з визначення допустимих швидкостей руху, що особливо важливо на швидкісних ділянках. У зв'язку із значними розбіжностями між параметрами плану колії на поздовжньому профілі, у паспорті кривих за натурними вимірами, пропонується провести роботи з паспортизації кривих і встановлення реально допустимої швидкості руху по них з урахуванням сучасного стану колії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вериго, М. Ф. Резервы повышения технических скоростей / М. Ф. Вериго // Ж.-д. трансп. – 1986. – № 10. – С. 17–19.
2. Дюнин, А. К. Аналитический метод проектирования переустройства железнодорожного пути в плане / А. К. Дюнин, А. И. Проценко. – Новосибирск : НИИЖТ, 1967. – 226 с.
3. Курган, Д. М. Діагностування і виправка положення залізничної колії колійними машинами / Д. М. Курган, М. О. Гаврилов // Укр. залізниця. – 2016. – № 8 (38). – С. 60–64.
4. Курган, М. Підготовка колії для підвищення швидкості руху поїздів / М. Курган, Д. Курган, Н. Хмелевська // Укр. залізниця. – 2017. – № 9/10 (51/52). – С. 14–21.
5. Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 мм : ЦП-0235 : затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 р. № 776-Ц. – Київ, 2011. – 51 с.
6. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії : ЦП-0236 : затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 р. № 778-Ц / М. Б. Курган, А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко, Д. М. Курган. – Київ, 2010. – 52 с.
7. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії : ЦП-0267 / О. М. Патласов, В. В. Рибкін, Ю. В. Палейчук, С. О. Соломаха, П. В. Панченко. – Київ, 2012. – 25 с.
8. Юрковський, Є. Інноваційні технології діагностики та обслуговування інфраструктури / Є. Юрковський, В. Яковлев // Укр. залізниця. – 2013. – № 5. – С. 18–20.
9. Щербина, Ю. В. Использование ленты вагона-путеизмерителя для определения основных параметров железнодорожной кривой и оценки воздействия подвижного состава на путь в кривой / Ю. В. Щербина, А. С. Саяпин, Л. П. Ватуля / Залізн. трансп. України. – 1997. – № 1. – С. 22–23.
10. Chrostowski, P. Prospects in elongation of railway transition curves / P. Chrostowski, W. Koc, K. Palikowska // Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport. – Thomas Telford Ltd, 2017. – С. 1–28. doi: 10.1680/jtran.17.00097.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

11. Huston, R. L. Minimum Curve Radii for High-Speed Trains, Including the Gyroscopic Moments of the Wheels / R. L. Huston // *World Journal of Engineering and Technology*. – 2016. – Vol. 05. – Iss. 01. – P. 113–124. doi: 10.4236/wjet.2017.51010.
12. Fischer, S. Traction energy consumption of electric locomotives and electric multiple units at speed restrictions / S. Fischer // *Acta Technica Jaurinensis*. – 2015. – Vol. 8. – Iss. 3. – P. 240–256. doi: 10.14513/actatechjaur.v8.n3.384.
13. Mazzola, L. Evaluation of the hunting behaviour of a railway vehicle in a curve / L. Mazzola, S. Alfi, S. Bruni // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. – 2014. – Vol. 229. – Iss. 5. – P. 530–541. doi: 10.1177/0954409713517379.
14. Patlasov, O. M. The Measurement Methodology Improvement of the Horizontal Irregularities in Plan // *Наука та прогрес транспорту*. – 2015. – № 4 (58). – С. 121–131. doi: 10.15802/stp2015/49219.
15. Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation / K. Wang, C. Huang, W. Zhai, P. Liu, S. Wang // *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. – 2014. – Vol. 1. – Iss. 3. – P. 209–220. doi: 10.1016/S2095-7564(15)30104-5.
16. Specht, C. Computer-aided evaluation of the railway track geometry on the basis of satellite measurements / C. Specht, W. Koc, P. Chrostowski // *Open Engineering*. – 2016. – Vol. 6. – Iss. 1. – P. 125–134. doi: 10.1515/eng-2016-0017.

Н. Б. КУРГАН¹, Д. Н. КУРГАН^{2*}, С. Ю. БАЙДАК³, Н. П. ХМЕЛЕВСКАЯ⁴

¹Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, эл. почта kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, эл. почта kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, эл. почта baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, эл. почта hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ПЛАНЕ НА ОСНОВЕ РАЗНЫХ МЕТОДОВ СЪЕМКИ

Цель. Основной целью данной работы является анализ существующих методов съемки кривых в плане, исследование влияния ошибок измерения параметров плана на допускаемые скорости движения, разработка рекомендаций по снижению расстройств пути за счет приведения параметров кривых к нормативам, которые действуют в Украине на направлениях ускоренного и скоростного движения поездов. Проблема перестройки кривых не была такой острой, пока не появилась необходимость повышения скоростей движения и мониторинга технического состояния плана пути. Недостоверное определение параметров кривых приводит к необоснованным ограничениям скорости движения или к большим объемам рихтовочных работ. **Методика.** Используемая в работе методика предусматривает всестороннее и детальное изучение разных способов съемки железнодорожных кривых, направленное на разработку и получение оптимальных решений по плану железнодорожного пути. На сегодняшний день существуют разные способы съемки натурной геометрии железнодорожного пути. Для проведения исследований на различных по сложности участках и за продолжительное время эксплуатации железнодорожного пути наиболее удобным, в первую очередь, учитывая регулярность заездов, остается лента путеизмерительного вагона. Однако, этот способ используется для оценки состояния железнодорожного пути, а не для определения точного геометрического положения. Так, при попытке определения по путеизмерительной ленте действительного очертания неровностей пути возникает ряд сложностей. При формировании математической модели существующего плана используется допущение: считается, что три смежные точки на кривой располагаются по окружности. На таком принципе построена работа выправочно-подбивочно-рихтовочных машин. В результате выправочных работ с целью уменьшения объемов рихтовки кривая не отвечает исходным паспортным данным. **Результаты.** Итоги работы вытекают из анализа разных подходов и способов съемки плана линии, влияния параметров кривых на

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

установление допустимой скорости движения. Полученные в работе рекомендации будут способствовать повышению эффективности проектных решений и качеству реконструкции железнодорожного пути в целом. **Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие научные подходы по оценке состояния кривых, изучению влияния их параметров на допустимую скорость движения поездов. Дополнена система критериев оценки состояния кривых, влияющих на накопление расстройств пути в плане. **Практическая значимость.** Полученные результаты будут полезны для проведения мероприятий по повышению скорости, улучшению плавности движения поездов и уровня комфортабельности езды на кривых участках пути, особенно на направлениях ускоренного и скоростного движения поездов.

Ключевые слова: скоростное движение поездов; методы съемки кривых; параметры кривых; ошибки измерения; переходная кривая; круговая кривая; допустимая скорость движения поезда

M. V. KURHAN¹, D. M. KURHAN^{2*}, S. Y. BAIDAK³, N. P. KHMELEVSKA⁴

¹Dep. «Roads Design and Construction», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*}Dep. «Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Dep. «Roads Design and Construction», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Dep. «Roads Design and Construction», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

RESEARCH OF RAILWAY TRACK PARAMETERS IN THE PLAN BASED ON THE DIFFERENT METHODS OF SURVEY

Purpose. The main purpose of this paper is to analyze the existing methods for surveying curves in a plan, to study the influence of the errors in measuring plan parameters on the permitted speeds of motion, to develop recommendations for reducing road disturbances by bringing the parameters of curves to the standards that operate in Ukraine in the directions of accelerated and high-speed train traffic. The problem of restructuring the curves was not so acute until there was a need to increase the speed of motion and technical condition monitoring of the track plan. Unreliable determination of the curves parameters leads to unjustified restrictions in the speed of motion or to large volumes of straightening operations. **Methodology.** The methodology used in the paper provides for a comprehensive and detailed study of different ways of railway curves survey, aimed at developing and obtaining the optimal solutions for the railway track plan. To date, there are different methods of survey the actual geometry of the railway track. To carry out research in various sections of complexity and for a long time of the railway track operation, the most convenient, first of all, considering the regularity of arrivals, there is a tape of the track-measuring car. However, this method is used to assess the state of the railway track, and not to determine the exact geometric position. Thus, when trying to determine the actual outline of the track unevenness using a track-measuring tape, a number of difficulties arise. When forming a mathematical model of the existing plan, the assumption is used: it is considered that three adjacent points on the curve are located along the circumference. The work of track renewal trains is based on this principle. As a result of track renewal operations with the aim of reducing the volume of flattening, the curve does not correspond to the initial passport data. **Findings.** The results of the work come out of the analysis of different approaches and methods of surveying the plan of the line, the parameters influence of the curves on establishing the permissible speed of motion. The recommendations received in the work will help to increase the efficiency of design decisions and the quality of railway track reconstruction as a whole. **Originality.** Scientific approaches to assessing the state of curves, studying the influence of their parameters on the permissible speed of trains, have been further developed. The system of criteria for assessing the state of curves that affect the accumulation of track disturbances in the plan is supplemented. **Practical value.** The results obtained will be useful for carrying out measures to improve speed, improve the smoothness of train traffic and the level of travel comfort on curved track sections, especially in the areas of accelerated and high-speed train traffic.

Key words: high-speed train traffic; methods of curves survey; curve parameters; measurement errors; transition curve; circular curve; permissible train speed

REFERENCES

1. Verigo, M. F. (1986). Rezervy povysheniya tekhnicheskikh skorostey. *Zheleznodorozhnyy transport*, 10, 17-19. (in Russian)
2. Dyunin, A. K., & Protsenko, A. I. (1967). *Analiticheskiy metod proektirovaniya pereustroystva zheleznodorozhnogo puti v plane*. Novosibirsk: NIIZhT. (in Russian)
3. Kurhan, D. M., & Havrylov, M. O. (2016). Diahnostuvannya i vypravka polozhennia zaliznychnoi kolii koliniymy mashynamy. *Ukrainska zaliznytsia*, 8(38), 60-64. (in Ukrainian)
4. Kurhan, M., Kurhan, D., & Khmelevska, N. (2017). Pidhotovka kolii dlia pidvyshchennia shvydkosti rukhu poizdiv. *Ukrainska zaliznytsia*, 9/10(51/52), 14-21. (in Ukrainian)
5. *Normy dopustymykh shvydkostei rukhu rukhomoho skladu po zaliznychnykh koliiakh derzhavnoi administratsii zaliznychnoho transportu Ukrainy shyrynoi 1520 mm: TsP-0235: Zatverdzheno nakazom Ukrzaliznytsi vid 14.12.2010 r. № 776-Ts.* (2011). Kiev. (in Ukrainian)
6. Kurhan, M. B., Orlovskiy, A. M., Patlasov, O. M., Tsyhanenko, V. V., & Kurhan, D. M. (2010). *Pravyla vyznachennia pidvyshchennia zovnishnoi reiky i vstanovlennia dopustymykh shvydkostei v kryvykh diliankakh kolii: TsP-0236: Zatverdzheno nakazom Ukrzaliznytsi vid 14.12.2010 r. № 778-Ts.* Kiev. (in Ukrainian)
7. Patlasov, O. M., Rybkin, V. V., Paleichuk, Y. V., Solomakha, S. O., & Panchenko, P. V. (2012). *Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovoï kolii za pokaznykamy koliiyemiriuvalnykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovoï kolii: TsP-0267.* Kiev. (in Ukrainian)
8. Yurkovskiy, Y., & Yakovliev, V. (2013). Innovatsiini tekhnolohii diahnostryky ta obsluhovuvannya infrastruktury. *Ukrainska zaliznytsia*, 5, 18-20. (in Ukrainian)
9. Shcherbina, Y. V., Sayapin, A. S., & Vatulya, L. P. (1997). Ispolzovanie lenty vagona-puteizmeritelya dlya opredeleniya osnovnykh parametrov zheleznodorozhnoy krivoy i otsenki vozdeystviya podvizhnogo sostava na put v krivoy. *Railway transport of Ukraine*, 1, 22-23. (in Russian)
10. Chrostowski, P., Koc, W., & Palikowska, K. (2017). Prospects in elongation of railway transition curves. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 1-28. doi: 10.1680/jtran.17.00097. (in English)
11. Huston, R. L. (2016). Minimum Curve Radii for High-Speed Trains, Including the Gyroscopic Moments of the Wheels. *World Journal of Engineering and Technology*, 05(01), 113-124. doi: 10.4236/wjet.2017.51010. (in English)
12. Fischer, S. (2015). Traction energy consumption of electric locomotives and electric multiple units at speed restrictions. *Acta Technica Jaurinensis*, 8(3), 240-256. doi: 10.14513/actatechjaur.v8.n3.384. (in English)
13. Mazzola, L., Alfì, S., & Bruni, S. (2014). Evaluation of the hunting behaviour of a railway vehicle in a curve. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 229(5), 530-541. doi: 10.1177/0954409713517379. (in English)
14. Patlasov, O. M. (2015). The Measurement Methodology Improvement of the Horizontal Irregularities in Plan. *Science and Transport Progress*, 4(58), 121-131. doi: 10.15802/stp2015/49219. (in English)
15. Wang, K., Huang, C., Zhai, W., Liu, P., & Wang, S. (2014). Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(3), 209-220. doi: 10.1016/S2095-7564(15)30104-5. (in English)
16. Specht, C., Koc, W., & Chrostowski, P. (2016). Computer-aided evaluation of the railway track geometry on the basis of satellite measurements. *Open Engineering*, 6(1), 125-134. doi: 10.1515/eng-2016-0017. (in English)

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. Л. Тютюкіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 05.12.2017

Прийнята до друку: 12.03.2018