

## УДК 625.113:625.173.4

М. Б. КУРГАН – д.т.н., професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

Д. М. КУРГАН – к.т.н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

С. Ю. БАЙДАК – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ В ПЛАНІ НА ПЛАВНІСТЬ І БЕЗПЕКУ РУХУ ПОЇЗДІВ

## Вступ

На сьогодні галузь транспорту в цілому задовольняє потреби національної економіки та населення у перевезеннях, проте рівень безпеки, показники якості та ефективності перевезень пасажирів і вантажів, енергоефективності, техногенного навантаження на навколишнє природне середовище не відповідають сучасним вимогам. Національна транспортна стратегія України до 2030 року визначає напрями покращення якості надання транспортних послуг, передбачає наближення рівня їх надання та рівня інфраструктури до європейських стандартів, підвищення рівня безпеки транспортних перевезень тощо [1].

Проблема не була такою гострою, поки не з'явилася необхідність впровадження в Україні швидкісного руху поїздів, що пов'язано з моніторингом технічного стану плану залізничної колії. В результаті виправочних робіт з метою зменшення обсягів зсувів криві не відповідають вихідним паспортним даним, що впливає на плавність, а інколи й на безпеку руху поїздів.

Методи, які використовуються сьогодні в дистанціях колії для визначення фактичних параметрів кривих недосконалі, так як в кінцевий результат привноситься суб'єктивність, кваліфікація виконавця та інші

фактори. Для виконання робіт з приведення кривих в проектне положення та визначення їх геометричних параметрів необхідно вирішити низку питань, в тому числі оцінити фактичний стан і реальні параметри кривих (радіуси, довжина перехідних кривих і прямих вставок між кривими, підвищення зовнішньої рейки, розбіжності відводів підвищення зовнішньої рейки та кривизни), що впливають на допустиму швидкість, плавність і безпеку руху поїздів.

## Аналіз публікацій. Мета дослідження

Сьогодні відомі діагностичні комплекси, які дозволяють здійснювати діагностику об'єктів інфраструктури всіх господарств (П, Ш, Е) одночасно безконтактним способом із застосуванням оптичних лазерних датчиків зі швидкістю до 160 км/год. При цьому може проводитись вимір додаткових параметрів – контроль поздовжнього профілю, габариту наближення, зносу рейок, коротких нерівностей, вертикальних і горизонтальних прискорень тощо. Крім того, проводиться відеоспостереження за всіма об'єктами (колією, контактним дротом, опорами контактної мережі і т.д.) камерами з високою роздільною здатністю і прив'язкою до колійних координат, що дозволяє

отримувати додаткову інформацію про стан об'єктів. Планувалося, починаючи з 2014 року придбати діагностичний комплекс на кожну залізницю для проведення дослідних випробувань, напрацювання необхідних нормативів динамічного впливу рухомого складу на колію для оцінки ефективності їх подальшого впровадження [2], але плани залишились нездійсненими.

До сьогодні, при побудові математичної моделі існуючого плану використовується неточна модель, при якій вважається, що три суміжні точки кривої лежать на колі. На такому принципі – методі «згладжування» побудована робота виправочно-підбивочно-рихтувальних машин (ВІР). В результаті виконання рихтувальних робіт з метою зменшення обсягів зсувів крива не відповідає вихідним паспортним даним, з однорадіусної може стати багаторадіусною [3].

Дотримання критеріїв міцності та стійкості колії, за якими встановлюються умови обертання рухомого складу [4] не виключає виходу з ладу окремих елементів верхньої будови колії і, головне, не обмежує інтенсивність накопичення в колії розладів і зносу. Отже виникає необхідність в оцінці інтенсивності наростання залишкових деформацій, їхнього впливу на плавність і безпеку руху поїздів [5].

Метою даної роботи є дослідження впливу стану й параметрів кривих на плавність і безпеку руху поїздів.

## Методика

Відокремлюють багато різних факторів, що викликають коливання системи рейка-колійна пара, а відповідно і динамічну взаємодію колії та рухомого складу, серед яких геометричні нерівності рейкових ниток. Від величини нерівностей залежать величини динамічних сил, а також умови контактування колійних пар та рейок.

Найбільші горизонтальні динамічні сили виникають при русі екіпажів в кривих, тому що самі криві є конструктивно запланованою нерівністю колії. Величини горизонтальних сил залежать від виду вписування рухомого складу в криві і наявності нерівностей в плані. При деяких граничних значеннях бокових сил може відбутися наповзання колеса на рейку та порушення безпеки руху рухомого складу в кривих [6]. Отже, необхідно розглянути криві, від параметрів і стану яких будуть залежати динамічні сили, як вертикальні, так і горизонтальні.

У дистанціях колії на кожну криву складається характеристика кривої ділянки колії (паспорт кривої), яка є складовою частиною технічного паспорта дистанції колії форми АГУ-4. Нижче наведено паспортні дані за період з 2013 по 2016 роки однієї з кривих на ділянці Синельникове – Чаплине, км 251 – км 255, непарна колія. Графіки натурних стріл вигину представлено на рис.1.

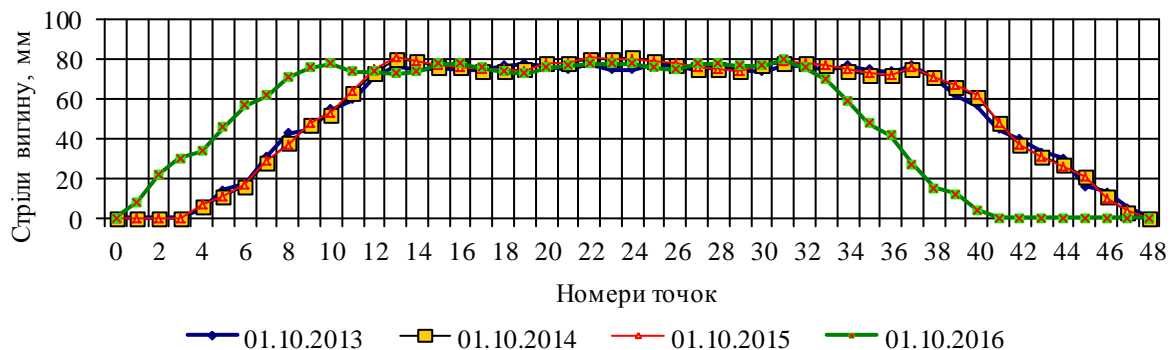


Рис. 1. Графіки натурних стріл вигину кривої в різні роки

Технічні характеристики кривої (кривизна, підвищення зовнішньої рейки, довжина перехідних кривих) повинні забезпечувати для заданого рівня швидкості оптимальну величину непогашених прискорень  $\alpha_{np}$ , швидкості їх зміни  $\psi = d\alpha/dt$  і відведення підвищення зовнішньої рейки  $i = dh/dl$ .

Розрахунок величин фактичних непогашених прискорень виконаний за формулою [7]:

$$\alpha_{np(i)} = \frac{V_{\max}^2}{3,6^2 R_i} - 0,00613h_i, \quad (1)$$

де  $i$  – величини радіусу і підвищення в  $i$ -й характерній точці; 3,6 – коефіцієнт переходу від виміру швидкості в км/год до м/с.

При розбіжностях відводів підвищення й кривизни і коротких довжинах одного з відводів перевіряється допустима швидкість зміни непогашеного прискорення за формулою

$$\psi = \frac{(\alpha_{np(i+1)} - \alpha_{np(i)}) V_{\max}}{3,6 \Delta l}, \quad (2)$$

де  $\alpha_{np(i+1)}$ ,  $\alpha_{np(i)}$  – величини непогашених прискорень у суміжних точках, відповідних початку і кінцю відводів за кривизною і підвищенням;  $\Delta l$  – відстань між цими характеристичними точками.

Оцінка відступів в плані виконується за показниками колієвимірювальних вагонів відповідно до норм утримання рейкової колії ЦП-0267 [8].

За даними паспорту кривої, що наведені на рис. 1 були виконані розрахунки за формулами (1) і (2), а отримані результати представлено у вигляді графіків на рис. 2–5.

Аналіз результатів щодо фактичних непогашених прискорень та їх зміни в часі (рис. 2–5) наведено нижче з урахуванням розбіжностей у відводах кривизни й підвищення зовнішньої рейки в кривих.

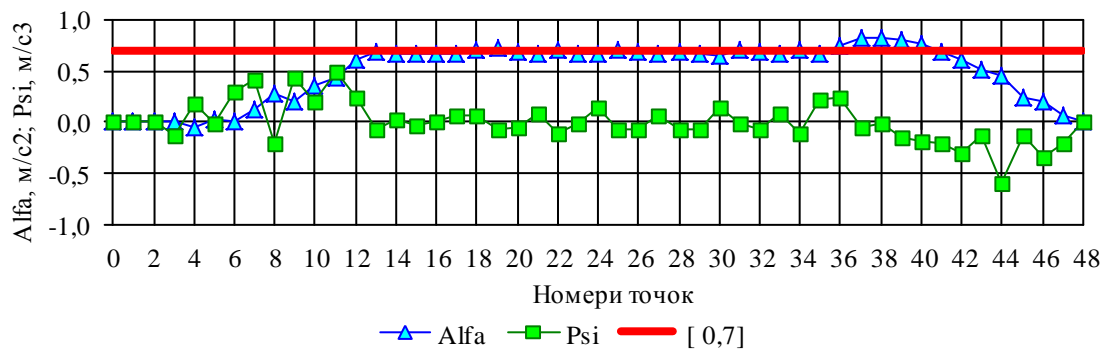


Рис. 2. Непогашені прискорення (Alfa) та зміна прискорень в часі (Psi) (2013 р.)

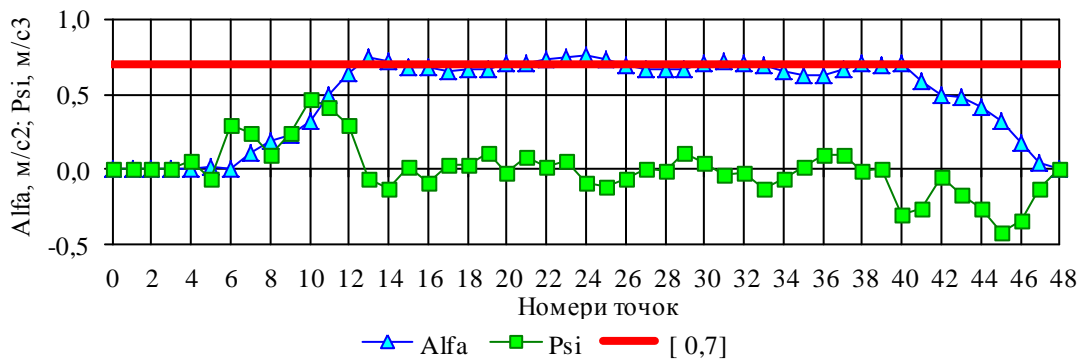


Рис. 3. Непогашені прискорення (Alfa) та зміна прискорень в часі (Psi) (2014 р.)

## Результати

Величина розбіжностей відводів кривизни й підвищення в межах перехідних кривих може бути визначена за записами стрічок колієвимірального вагону. Причиною наявності розбіжності відводів підвищення зовнішньої рейки й кривизни можна вважати неправильно виконаний відвід підвищення. У цьому випадку можуть бути розбіжності початку відводу підвищення (ПВП) чи кінця відводу підвищення (КВП), зменшення чи збільшення його довжини чи поєднання названих факторів. Розглянемо фактичні розбіжності, що мали місце в дос-

лідній кривій упродовж 2013–2016 рр. (рис. 6–9).

На початку кривої ПВП=ПВК і КВП<КВК. З рис. 2 випливає, що на першій перехідній кривій непогашені прискорення від'ємні, однак їх амплітуда невелика. Наприкінці перехідної кривої (КВП-КВК) виникає  $\psi > [\psi]$ , амплітуда якого не залежить від величини розбіжності, але впливає на плавність їзди.

Якщо в круговій кривій непогашені прискорення досягають максимально допустимого значення  $[\alpha_{\text{нп}}] = 0,7 \text{ м/с}^2$ , то між точками КВК-КВП вони перевищують допустимі  $0,84 > 0,70$  (див. рис. 2).

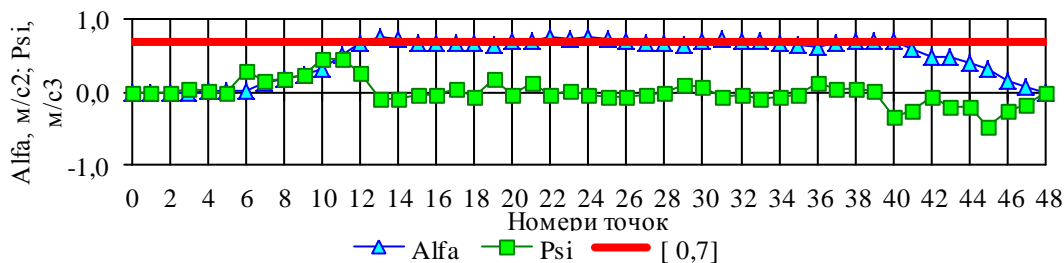


Рис. 4. Непогашені прискорення (Alfa) та зміна прискорень в часі (Psi) (2015 р.)

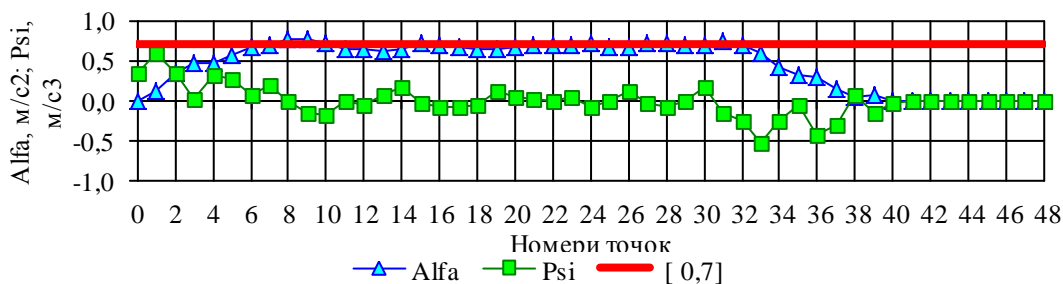


Рис. 5. Непогашені прискорення (Alfa) та зміна прискорень в часі (Psi) (2016 р.)



Рис. 6. Розташування відводу підвищення й кривизни:  
 ПВП=ПВК, КВП<КВК; ПВК>КВП, КВК<КВП

На ділянці між точками КВК-КВП значення  $\psi$  від'ємне (див. рис. 2), причому у точці КВП відбувається зміна  $\Delta\psi = \psi^+ - \psi^-$  і може бути такою, що порушить плавність їзди.

Аналогічні висновки можуть бути отримані на основі співставлення й аналізу рис. 7–9 і рис. 3–5. Якщо перевищення  $\alpha_{\text{нп}}$  відносно допустимого значення  $0,7 \text{ м/с}^2$  незначне, то коливання величини  $\psi$  відбува-

ється більш суттєво, до того ж спостерігаються зміни  $\psi^+$  на  $\psi^-$ , що порушує плавність їзди. З рис. 4 видно, що в кінці першої перехідної кривої значення непогашених прискорень перевищують допустимі, тобто  $0,77 > 0,70$  після чого відбувається зміна  $\Delta\psi = \psi^+ - \psi^-$ , особливо на ділянці КВК-КВП, що порушує плавність і комфортабельність їзди.

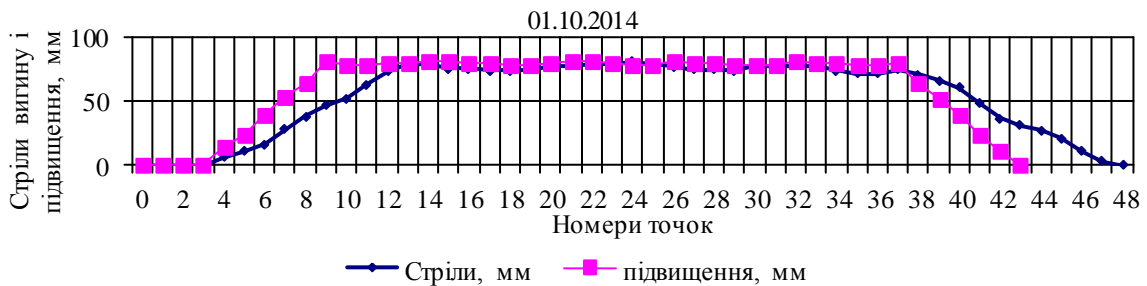


Рис. 7. Розташування відводу підвищення й кривизни:  
 ПВП=ПВК, КВП<КВК; ПВК>КВП, КВК=КВП

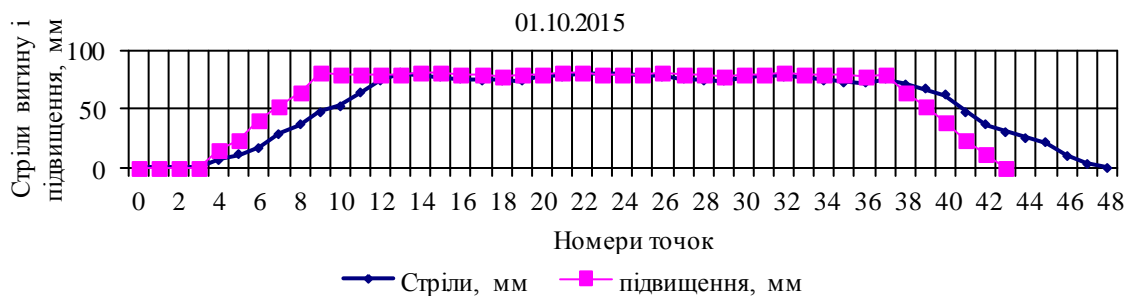


Рис. 8. Розташування відводу підвищення й кривизни:  
 ПВП=ПВК, КВП<КВК; ПВК>КВП, КВК=КВП

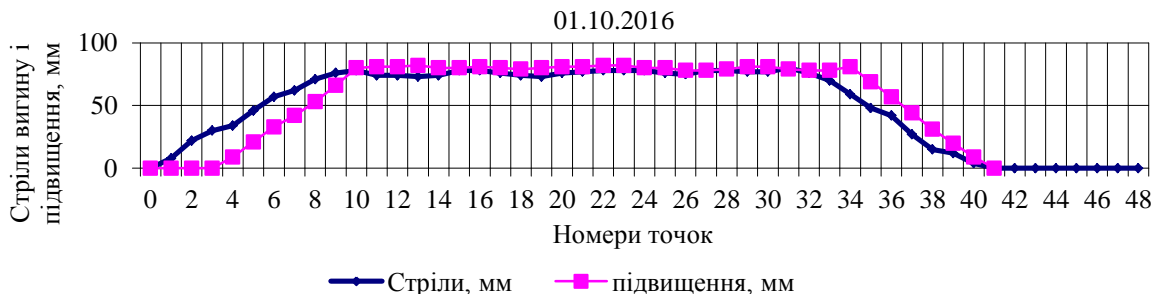


Рис. 9. Розташування відводу підвищення й кривизни:  
 ПВК<ПВП, КВП=КВК; ПВК=ПВП, КВП>КВК

На основі досліджень негативних факторів впливу розбіжностей відводів підвищення зовнішньої рейки й кривизни на величину допустимої швидкості руху в кривій були встановлені розрахункові формули (див. табл. 1) для виконання розрахунків при різних комбінаціях розбіжностей відводів підвищення й кривизни.

Розрахунки показали, що в тих випадках, коли забіги додатні, тобто кривизна випереджає підвищення, зі збільшенням величини розбіжності відводів кривизни й підвищення зовнішньої рейки допустима швидкість руху по кривій зменшується, якщо в кривій не настає більш раннього обмеження швидкості.

Аналіз даних при від'ємних забігах показує, що за кругизною відводу підвищення і недостатнього підвищення наприкінці відводу кривизни при забігу наприкінці кривої швидкість руху поїзда не обмежується на ділянках відводу підвищення чи перехідної кривої і дорівнює швидкості, що допускається в круговій кривій. Однак при експериментальному обстеженні кривих було встановлено, що при вході екіпажа в перехідну криву гребені коліс набігають на бічну грань зовнішньої нитки рейки на відстані 20...30 метрів від початку кривої і на всьому протязі на екіпаж майже не впливає зміна кривизни. Тільки після цього горизонтальні прискорення починають зростати. Оскільки на ділянці 20...30 м від початку перехідної кривої зовнішня нитка перехідної кривої вже має підвищення, то збільшення прискорень може бути навіть від'ємним, тобто спрямованим усередину кривої, і у зоні набігання гребеня, де прискорення вже спрямовані назовні кривої, відбувається їхнє різке збільшення. На ділянці ПВП-ПВК спостерігається близьке до описаного явище, тому що на зовнішній рейковій нитці вже є підвищення, а відвід кривизни запізнюється і поперечні непогашені прискорення мають від'ємне значення.

Таку несправність колії слід оцінювати як відступ за рівнем і встановлювати допу-

стиму швидкість відповідно за рис. 10. Як випливає з цього рисунка, допустима швидкість суттєво обмежується при відхиленнях за рівнем більше 20 мм.

Отже, в тих випадках, коли в кривій мають місце розбіжності початку і кінця перехідних кривих з початком і кінцем відводів підвищення зовнішньої рейки, в точках зміни кривизни й підвищення зовнішньої рейки необхідно розрахувати непогашені прискорення і швидкості наростання цих прискорень для порівняння з допустимими.

У нормативному документі ЦП-0236 [7] дозволяється зберігати розбіжності відводів підвищення і кривизни до 20...30 м на ділянках прискореного руху поїздів, де встановлена швидкість до 160 км/год, але такі рекомендації не розповсюджуються на швидкісний рух (161...200 км/год).

## Висновки

1. Дослідження показали, що несприятливими з позиції комфортабельності їзди є випадки випередження підвищення зовнішньої рейки відносно кривизни, особливо на вході в криву. Це пов'язано з тим, що через зазор між колесом і рейкою при вході в криву колеса набігають на рейкову нитку не на початку перехідної кривої, а через 20...30 м. Наявність від'ємного прискорення за рахунок надлишкового підвищення приводить до скорочення ефективної довжини перехідної кривої. Таку несправність слід оцінювати як відступ за рівнем незалежно від величини забігу.

2. При улаштуванні частини відводу підвищення в круговій кривій через неповне підвищення наприкінці перехідної кривої в перехідній кривій виникають значні непогашені прискорення і їхня зміна у часі, що можуть перевищувати допустимі значення. Все це сприяє росту бічних сил між колесом і рейкою і вимагає обмеження швидкості для забезпечення безпеки руху.

3. При проектуванні ремонтів колії можна досягнути суттєвого виграшу в часі

руху за рахунок виконання вимог ЦП-0287 з виправлення кривих у плані та відновлення проектних радіусів, тобто встановлюва-

ти колію при машинізованому поточному утриманні й ремонтних роботах в проектне положення.

Таблиця 1

**Розрахункові формули для визначення допустимої швидкості при розбіжності відводів**

Взаємне розташування точок відводів	Забіги, м		Розрахункові формули
	на початку кривої ( $\Delta_1$ )	в кінці кривої ( $\Delta_2$ )	
ПВП	+		$V^\alpha = 3,6 \sqrt{\frac{C[\alpha_{\text{нп}}]}{\Delta_1}}$ $V^\psi = 3,6 \sqrt[3]{C[\psi]}$ Перевірка за $\alpha_{\text{нп}} \leq [\alpha_{\text{нп}}]$ та $\psi \leq [\psi]$
ПВК - ПВП	+		
ПВК	-		$V^\psi = \frac{[\psi]}{1,7i_h}$
ПВП - ПВК	-		
ПВП - КВП	+	-	$V^\psi = \sqrt[3]{-q + \sqrt{d}} + \sqrt[3]{-q - \sqrt{d}},$ де: $q = -46,66Cp$ $p = -79,44Ci_h$ $d = p^3 + q^2$
ПВП - КВК	+	+	
ПВК - КВП	-	-	$V^\alpha = 3,6 \sqrt{R([\alpha_{\text{нп}}] + 6,13(L_n - \Delta_2)i_h)}$ $V^\psi = \frac{[\psi]}{1,7i_h}$
ПВК - КВК	-	+	
КВК, КВП		+	$V^\alpha = 3,6 \sqrt{R([\alpha_{\text{нп}}] + 6,13h)}$
КВК - КВП		+	
КВК, КВП		-	$V^\alpha = 3,6 \sqrt{R([\alpha_{\text{нп}}] + 6,13h)}$ $V^\psi = 3,6 \sqrt[3]{C[\psi]}$
КВП - КВК		-	

*Примітка.* Забіги зі знаком «-» прийняті для випадку, коли відвід підвищення випереджає кривизну; зі знаком «+», коли відвід кривизни випереджає відвід підвищення.

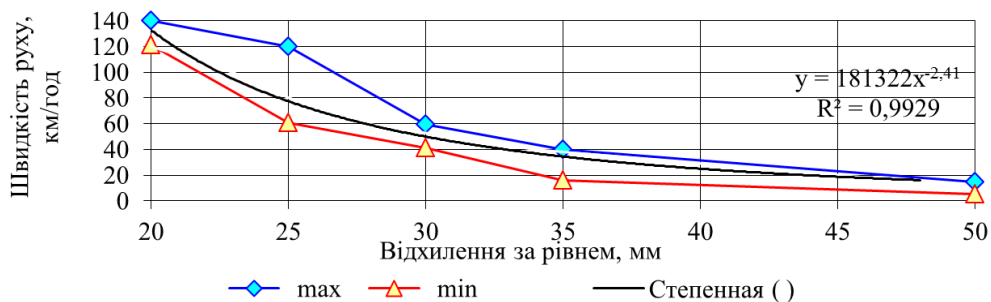


Рис. 10. Залежність максимальної швидкості руху від допустимого відхилення за рівнем

### Бібліографічний список

1. Проект Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року / Міністерство інфраструктури України. Оприлюднено 10 квітня 2017 року. Режим доступу: <http://mtu.gov.ua/projects/view.php?P=115>
2. Юрковський, Є. Інноваційні технології діагностики та обслуговування інфраструктури / Є. Юрковський, В. Яковлев // Українські залізниці, №5, 2013. – С. 18–20.
3. Курган, Д. М., Гаврилов М. О. Діагностування і виправка положення залізничної колії колійними машинами // Українська залізниця. – 2016. № 8 (38).
4. 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 № 776-Ц. – К., 2011. – 51 с.
5. Курган, М. Підготовка колії для підвищення швидкості руху поїздів / М. Курган, Д. Курган, Н. Хмелевська // Українська залізниця. – № 9–10 (51–52), 2017. – С. 14–21.
6. Курган, Д. М. Оцінка безпеки руху за умови забезпечення стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки / Д. М. Курган, В. О. Губар // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2016. – № 11. – С. 65–72.
7. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії /

- М. Б. Курган, А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко, Д. М. Курган: ЦП/0236: Затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 №778-Ц. – К., 2010. – 52 с.
8. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірjuвальних 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.

**Ключові слова:** безпека руху поїздів, параметри кривих, відвід підвищення, відвід кривизни, допустима швидкість, плавність руху.

**Ключевые слова:** безопасность движения поездов, параметры кривых, отвод возвышения, отвод кривизны, допустимая скорость, плавность движения.

**Keywords:** rail traffic safety, data of curves, change rail cant, change curvature, allowable speed, ride quality.

**Рецензенти:**

д.ф.-м.н., проф. В. І. Гаврилюк,  
д.т.н., проф. А. Б. Бойнік.

Надійшла до редколегії 13.11.2017.  
Прийнята до друку 27.11.2017.