

БАБЕНКО А. І. (Укрзалізниця), Курган М. Б., Черняков М.М. (ДНУЗТ)

ВСТАНОВЛЕННІ ДОПУСТИМОЇ ШВИДКОСТІ НА СКЛАДНИХ ДІЛЯНКАХ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦІ З УРАХУВАННЯМ КОМФОРТАБЕЛЬНОСТІ ЇЗДИ

На основі проведеного аналізу плану залізниці на ділянці прискореного руху поїздів встановлено неточності, що мають місце при визначенні максимально допустимої швидкості.

Викладено основні положення методики розрахунку допустимої швидкості руху в багаторадіусних кривих, що враховує критерії безпеки руху, плавності й комфортабельності їзди.

Отримані результати можуть бути використані для вирішення задач підвищення швидкості руху поїздів. Надані рекомендації будуть сприяти проведенню паспортизації кривих з постановкою осі залізничної колії в проектне положення.

На основе проведенного анализа плана железной дороги на участке ускоренного движения поездов установлены неточности, которые имеют место при определении максимально допустимой скорости в сложных кривых.

Изложены основные положения методики расчета допустимой скорости движения в многорадиусных кривых по критериям безопасности движения, плавности и комфортабельности езды.

Полученные результаты могут быть использованы для решения задач повышения скорости движения поездов. Предложенные рекомендации будут способствовать проведению паспортизации кривых с постановкой оси железнодорожного пути в проектное положение.

It is executed the analysis of curves of the railroad on a site of the accelerated movement of trains, inaccuracies which take place at determination of the most admissible speed in difficult curves are established.

The method of calculation of speed of movement in multiradial curves by criteria of traffic safety, smoothness and comfortableness of a driving is stated.

The received results can be used for the solution for problems of increase of speeds movement of trains. The offered recommendations are necessary for certification of curves with statement of an axis of a track in design situation.

Ключові слова: швидкість, безпека руху, комфортабельність їзди, параметри кривих, способи зйомки, паспортизація кривих

Постановка проблеми

При впровадженні швидкісного руху пасажирських поїздів визначальним параметром є максимальна швидкість, реалізація якої потребує реконструкції

інфраструктури на основі нових нормативів і параметрів улаштування й утримання залізничної колії, колійних споруд і пристроїв, що враховують специфіку взаємодії рухомого складу і колії. Для запобігання проблем експлуатаційного і технічного характеру, пов'язаних з можливістю розладів верхньої будови колії, порушень плавності й комфортабельності їзди при впровадженні швидкісного руху поїздів підвищується відповідальність до обґрунтованості рішень, в тому числі пов'язаних з встановленням максимально допустимих швидкостей руху поїздів в кривих ділянках колії.

Наявність бар'єрних місць, в тому числі за параметрами й станом кривих, призводить до зростання часу руху, підвищеного споживання паливно-енергетичних ресурсів, зносу колії [1-3]. Загальна протяжність обмежень швидкості руху поїздів по Укрзалізниці на 01.01.2012 на головних коліях складала близько 600 км.

Метою роботи є аналіз неточностей при встановленні максимально допустимих швидкостей руху на складних ділянках плану лінії з урахуванням спеціалізації пасажирських перевезень і розробка пропозицій щодо їх недопущення.

У діючих з 2011 р. Правилах визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії (ЦП-0236) [4] розглядається наявність суміщеного руху всіх категорій поїздів і визначається максимальна допустима швидкість в кривих для пасажирського та вантажного і мінімальна – для вантажного руху. При розподіленні напрямків за спеціалізацією для певної категорії поїздів, якій буде надана перевага, доцільно встановити параметри плану і раціональну швидкість, що дасть змогу зменшити непогашені прискорення, підвищити комфорт їзди пасажирів, зменшити знос рейок та коліс рухомого складу, обсяги робіт з поточного утримання колії, скоротити витрати електроенергії або палива на рух поїздів.

Для ділянок з наявністю спеціалізації напрямку відсутність (або незначна кількість) поїздів тієї чи іншої категорії в ряді випадків дає можливість зняття обмеження швидкості руху в кривій шляхом часткового корегування її параметрів (підвищення, радіус, довжина перехідних кривих) при відносно невеликих рихтуваннях.

ЦП-0236 регламентує встановлення допустимих швидкостей руху для геометрично правильних кривих. При утриманні кривих з відхиленнями від нормативів (табл. 9.12 [5]) важко визначити розрахункові параметри – радіуси, довжини перехідних кривих, підвищення зовнішньої рейки. Неточне визначення розрахункових параметрів кривої приводить до недоцільного обмеження швидкості руху або до великих обсягів рихтувальних робіт.

Методика визначення допустимих швидкостей руху по сполученням кривих викладена в ЦП-0236 стисло. Тому при наявності складних ділянок плану лінії важко правильно визначити необхідний розрахунковий випадок, відповідні критерії та розрахункові формули й отримати вірний результат. Статистика підтверджує, що велика кількість сполучень кривих на залізницях України у ряді випадків приводить до недоцільного обмеження швидкостей руху або, навпаки, до їх завищення і, як наслідок, до погіршення плавності та комфортабельності руху поїздів, швидкого розладу колії.

Як показали проведені ДНУЗТ розрахунки, обмеження швидкості, що встановлені за наказом начальника залізниці, можуть бути більші розрахункових. Це можна пояснити тим, що розрахунки в дистанціях колії часто виконуються по

спрощеній схемі, тобто для складових і сполучених кривих вони виконуються як для одиноких кривих і основна увага приділяється двом параметрам – радіусу й підвищенню зовнішньої рейки. Фактично враховуються тільки два критерії: непогашене прискорення і крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки. В той же час, в умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими. Отже, критерії, що впливають на плавність і комфортабельність руху [6] не враховуються в повній мірі. Такий підхід не допустимий особливо при впровадженні на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів.

Оскільки збільшення швидкості ставить підвищені вимоги до якості проведення робіт з виправки й утримання кривих, необхідні нові підходи до розрахунків проектних параметрів плану та встановлення максимально допустимої швидкості руху поїздів. Ті допущення, що були прийняті раніше й слабо впливали на показники руху поїздів при швидкостях 100-120 км/год, потребують або зміни, або відповідного корегування при швидкостях 160 км/год і більше.

Аналіз параметрів кривих з непогашеними прискореннями до $1,0 \text{ м/с}^2$ на ділянках прискореного руху

Встановлення максимально допустимої швидкості за параметрами й станом кривих є комплексна задача, від правильного вирішення якої залежить ефективність впровадження на залізницях України прискореного й швидкісного руху пасажирських поїздів.

Відповідно до Інструкції [7] – допустиме непогашене поперечне прискорення на рівні букси, що виникає при русі по кривим, за узгодженням з Укрзалізницею для швидкісних поїздів може бути збільшено до $0,8-1,0 \text{ м/с}^2$;

Авторами проведено вибірково аналіз максимально допустимих швидкостей руху по багаторадіусним кривим на напрямку Гребінка-Полтава, рівень швидкості по яким розраховувався з непогашеними прискореннями до $1,0 \text{ м/с}^2$ і встановлено, що допустима швидкість в кривих (одиноких, складових, сполучених) розраховувалась за формулою (1), що визначає допустиму швидкість в тільки в кругових кривих:

$$V = 3,6 \sqrt{R([\alpha_{\text{нп}}] + 0,00613h)}. \quad (1)$$

Метою було отримання однакових максимально допустимої швидкості і підвищення зовнішньої рейки упродовж складової кривої за рахунок різних значень непогашених прискорень в кривих. До недоліків такого підходу слід віднести те, що розраховані максимально допустимі швидкості не проконтрольовані за такими параметрами як зміна непогашеного прискорення в часі

$$\psi = \frac{\alpha_{i+1}^{\text{нп}} - \alpha_i^{\text{нп}}}{t} \quad (2)$$

і зміна кривизни

$$k = \frac{1}{R_{i+1}} - \frac{1}{R_i}. \quad (3)$$

Для прикладу в статті наведено складову 4-радіусну криву на ділянці прискореного руху – 148-й кілометр. Встановлена допустима швидкість $V_{\text{дон}} = 110 \text{ км/год}$ для всієї кривої при різних непогашених прискореннях (в м/с^2)

відповідно $\alpha_{нп}^1=0,50$, $\alpha_{нп}^2=0,95$, $\alpha_{нп}^3=0,78$ і $\alpha_{нп}^4=0,42$ (рис. 1). Підвищення зовнішньої рейки прийнято однаковим для всіх кривих $h=100$ мм. Інші дані наведено на рис. 2.

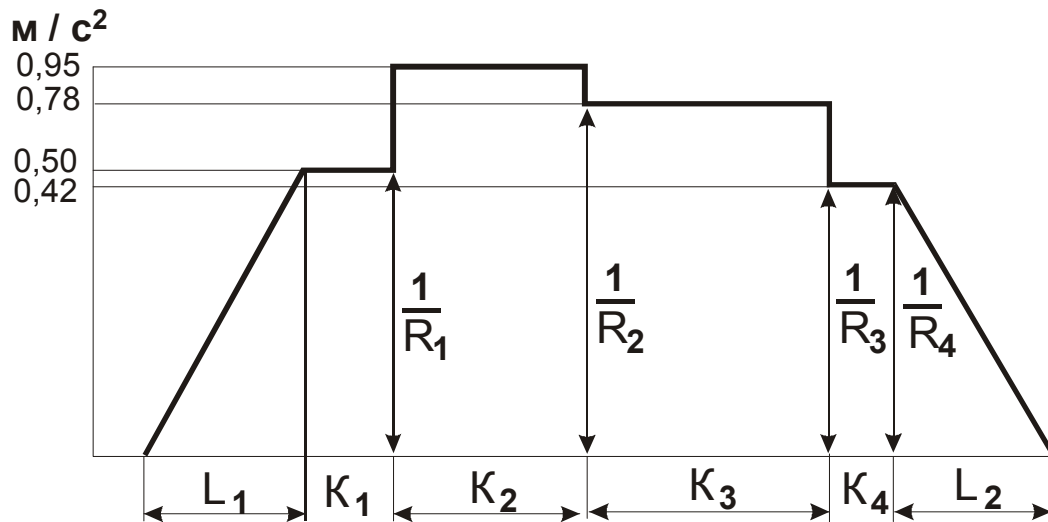


Рис. 1. Графік непогашених прискорень існуючої кривої

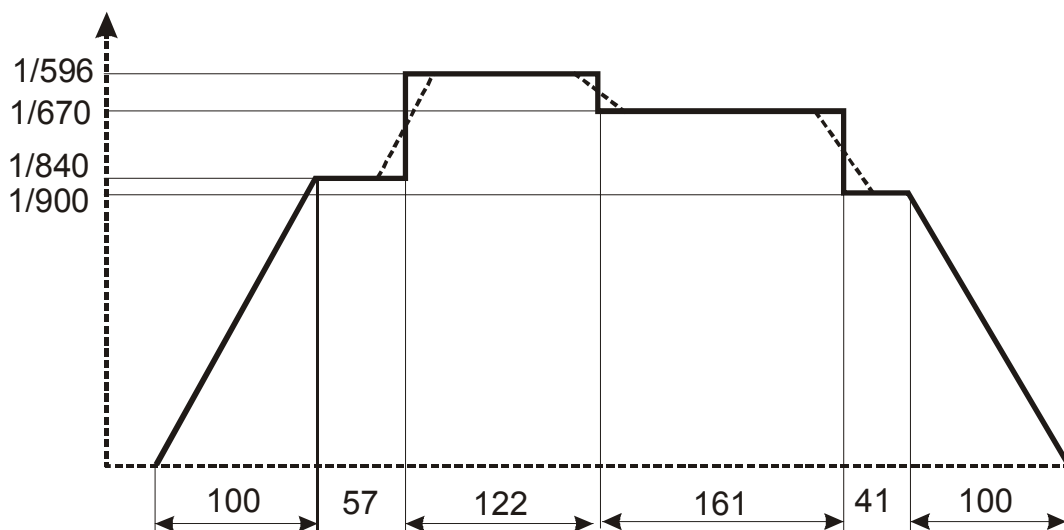


Рис. 2. Графік кривизни існуючої кривої

З рис. 2 видно як змінюється кривизна на кожній ділянці кривої. Щоб оцінити, чи не порушується плавність руху поїздів, необхідно проаналізувати зміну непогашених прискорень в часі. Для цього розглянемо перехід екіпажу з першої до другої кривої (рис. 3), де кривизна й непогашені прискорення змінюються найбільш суттєво.

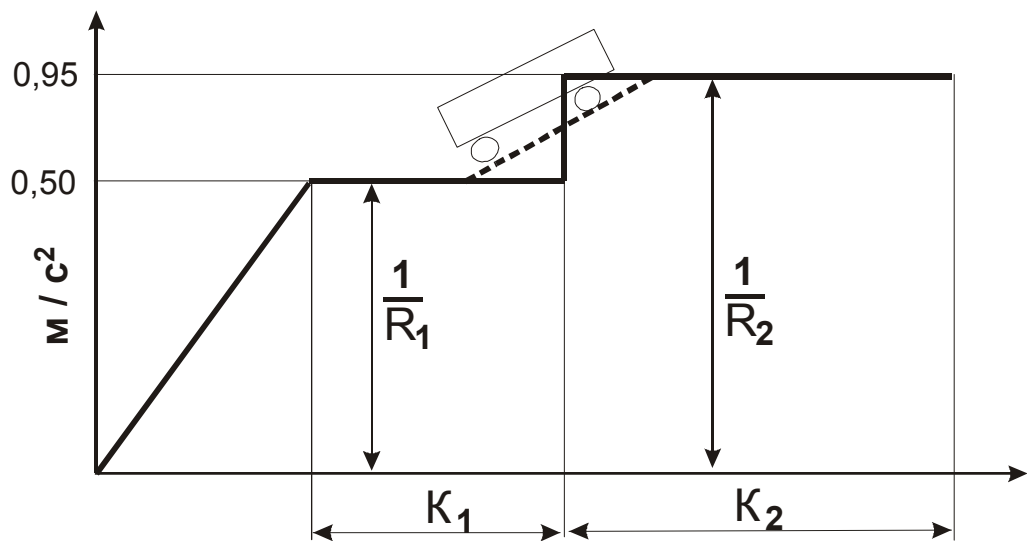


Рис. 3. Графік кривизни на 1-й і 2-й кривих

При русі екіпажу по першій кривій радіусом R_1 виникають непогашені прискорення (в прикладі $\alpha_{nn}^1 = 0,50 \text{ м/с}^2$). В другій кривій радіусом R_2 відповідно $\alpha_{nn}^2 = 0,95 \text{ м/с}^2$. Перехідна крива, що сполучає першу й другу криву, відсутня. Тому зміна непогашених прискорень відбувається за час t , на шляху, що дорівнює довжині екіпажу b , тобто згідно формули (2):

$$\psi = \frac{(\alpha_{nn}^2 - \alpha_{nn}^1) V}{b}. \quad (4)$$

Якщо в формулу (4) підставити вирази, за якими визначаються непогашені прискорення, то отримаємо нерівність, з якої й знаходиться допустима швидкість руху:

$$\psi = \frac{1}{b} \left[V^3 \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) - \frac{gV}{S} (h_2 - h_1) \right] \leq [\psi]. \quad (5)$$

Відповідно до формули (5) визначається різниця кривизни і різниця підвищення у точці сполучення кривих різних радіусів:

$$1\text{-а і } 2\text{-а криві: } \left(\frac{1}{840} - \frac{1}{596} \right) = \frac{1}{2052} > \frac{1}{3000}; \quad (h_2 - h_1) = 100 - 100 = 0 \text{ мм}.$$

За графіком на рис. Д.4 [4] для $[\psi] = 0,3 \text{ м/с}^3$ відповідно до отриманих значень встановлена допустима швидкість $V_{дон}^1 = 79 \text{ км/год}$.

Аналогічно виконані розрахунки для 2-ї і 3-ї, 3-ї і 4-ї кривих і отримано: $V_{дон}^2 = 112 \text{ км/год}$, $V_{дон}^3 = 85 \text{ км/год}$ і $V_{дон}^4 = 120 \text{ км/год}$. Таким чином, за причиною різкої зміни непогашеного прискорення при переході екіпажу з першої на другу криву, тобто за критерієм комфорту пасажирів ψ , допустима швидкість повинна прийматись не 110, як пропонувала залізниця, а 79 км/год.

Оптимізація параметрів кривих

При реконструкції ділянок для впровадження швидкісного руху поїздів необхідно відкоректувати перш за все параметри кривих, які є визначальними для реалізації максимальної швидкості. Тобто, за наявності відповідного техніко-економічного обґрунтування збільшити радіуси окремих кривих, привести підвищення зовнішньої рейки у відповідність до швидкості руху, довжину перехідних кривих – у відповідність до величини підвищення й крутизни його відводу. Прийняти такі параметри утримання кривих, які б забезпечили безпеку, плавність і комфортабельність їзди. Якраз на вибір вище названих параметрів кривих впливають і обсяги перевезень, і структура поїздопотоків (кількість, маса й швидкість вантажних, пасажирських і приміських поїздів), і складність плану існуючої лінії, й експлуатаційні умови.

Розрахунки за програмою RWPlan [8] дають можливість підібрати такі параметри кривих, які реально можуть забезпечити реалізацію більш високої швидкості. На рис. 4 представлена крива з дещо зміненими радіусами (від 0,7 до 5,9%) і введеними проміжними перехідними кривими, що забезпечують плавний перехід від 2-ї до 3-ї й 4-ї кривих. При цьому зміщення осі колії не перевищує 40 мм. Результати розрахунків наведено в табл. 1

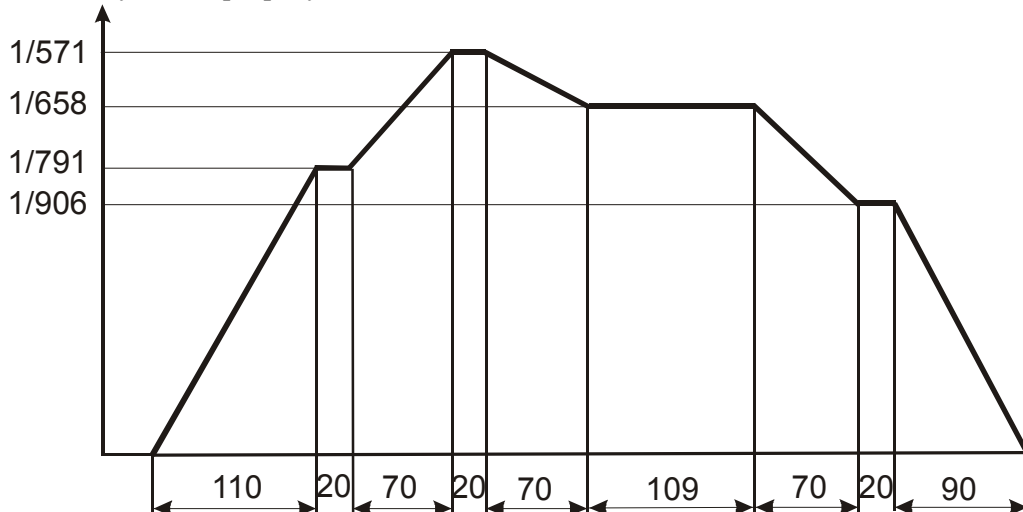


Рис. 4. Графік кривизни проектної кривої

Таблиця 1. Параметри проектної кривої

Довжина перехідної, м	Радіус, м	Довжина кривої, м	Підвищення, мм
110	791	20,50	90
70	571	20,50	150
70	658	109,16	120
70	906	20,00	60
90			

В табл. 2 наведено допустимі швидкості розраховані Південною залізницею і ДНУЗТ за методикою ЦП-0236 [4].

Таблиця 2. Допустима швидкість упродовж складової кривої, км/год

Параметри кривої	Допустима швидкість				Прийнято
	Крива 1	Крива 2	Крива 3	Крива 4	
Південна залізниця	79	112	85	120	80
ДНУЗТ	126	119	122	127	120

Послідовність проведення паспортизації кривих

Для визначення максимально допустимої швидкості руху по кривій необхідно мати достовірні вихідні дані. Відомо, що різні способи зйомки кривих дають неоднакову похибку вимірювання стріли вигину.

Подамо радіус, що входить до формули (1) у такому вигляді:

$$R = R_0 + \frac{50000}{df}, \quad (6)$$

де R_0 – усереднений радіус кривої, м;

df – похибка у вимірюванні стріли, мм.

Тоді швидкість руху можна виразити як

$$V = V_0 + dV, \quad (7)$$

де V_0 – допустима швидкість руху по круговій кривій радіусом R_0 ;

dV – похибка у розрахунку швидкості при зміні радіуса на величину $50000/df$.

За паспортними даними точність вимірів стріли в кривих ділянках колії колієвимірювальним вагоном типу КВЛ складає 1 мм в місті вимірювання, а точність оцінки пройденого шляху складає не більше 1:500. Це мінімум у півтора рази гірше «ручного» вимірювання стріл і в десять разів гірше «ручного» вимірювання довжини. На основі проведеного дослідження встановлено, що при зйомці плану лінії колієвимірювальним вагоном на точність впливає два істотних фактори: по-перше, довжина лінії вимірюється з низькою точністю; по-друге, зйомка ведеться за схемою з великою асиметрією. Асиметрична схема вимірювання (17 : 4,1) не дозволяє вірно оцінювати складні ділянки плану, що вносить істотну невизначеність при розрахунках кривизни в точках колії, на графіку кривизни положення перехідних кривих зміщується щодо істинного, а прямі вставки довжиною до 50 м можуть узагалі зникати. Це приводить до необхідності застосування виправки кривих методом „згладжування”, який не гарантує постановки кривих у правильне проектне положення. Таким чином, використання результатів заїздів колієвимірювальних вагонів для оцінки параметрів плану лінії є неточним.

Якщо після оцінки стану колії колієвимірювальним вагоном встановлено, що потрібна виправка чи перебудова кривих, то пропонується наступна послідовність виконання робіт:

1. Проведення натурного обстеження та зйомка фактичних параметрів кривих, наприклад, методом стріл.
2. Розрахунок оптимальних параметрів кривих.
3. Визначення обсягів з перебудови плану лінії і підготовка завдання на виконання виправочних робіт.
4. Виправка (перебудова) кривих при машинізованому поточному утриманні колії й ремонтних роботах на основі затвердженого проекту.

5. Зйомка фактичних характеристик плану лінії після виправки кривих.
6. Оцінка відповідності фактичних характеристик плану паспортним значенням.
7. Затвердження паспорту кривої, якщо відповідність характеристик (п. 7) встановлена, інакше йти до п. 4.

Висновки та рекомендації

1. Проведений аналіз складних ділянок плану залізниці показав, що після оптимізації параметрів кривих (з урахуванням вартості їх перебудови) та виконання розрахунків відповідно до методики [4], можна підвищити швидкість в кривих і скоротити час руху поїздів. Так, для розглянутого прикладу для проектних параметрів кривої (після оптимізації за методикою [6]) максимальна швидкість $V_{доп} = 120$ км/год замість допустимої швидкості 80 км/год, рівень якої встановлено за критерієм плавності й комфортабельності їзди.

2. Аналогічний аналіз бажано провести по всім кривим на напрямках швидкісного руху за методикою ЦП-0236 [4] в повному обсязі, що дозволить отримати додаткове скорочення часу руху і уникнути неточностей, які виникають при спрощених розрахунках.

3. Для всіх кривих, що обмежують швидкість руху, а також тих, що утримуються з відступами, відповідно вимог інструкції ЦП-0269 [7], необхідно провести натурне обстеження з виконанням повного циклу розрахунків для їх паспортизації.

© *Бабенко А. І., Курган М. Б., Черняков М. М., 2012*

ЛІТЕРАТУРА

1. Курган М. Б. Вплив обмеження швидкості на енергетичні показники руху поїздів / М. Б. Курган, О. С. Маркова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – С. 29–36.
2. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати енергоресурсів / Корженевич І. П., Курган М. Б., Бараш Ю. С., Курган Д. М. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – Вип. 20. – С. 233–239.
3. Корженевич І. П. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати пов'язані із зносом колійної інфраструктури / Корженевич І. П., Курган М. Б., Бараш Ю. С. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – Вип. 21. – С. 285–292.
4. 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.
5. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269) / Е. І. Даниленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев та ін. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.
6. Курган Н. Б. Критерии определения допускаемой скорости движения поездов и комфортабельность езды // 36. наук. праць Київського ун-ту економіки і технологій трансп.: Серія “Транспортні системи і технології”. -Вип.4.- К.: КУЕТТ, 2003.- С. 22-31.
7. Інструкція з організації прискореного руху пасажирських поїздів на залізницях України щодо вимог до інфраструктури та рухомого складу. Затв. наказом Укрзалізниці від 16.01.2012 № 004-Ц. – К., 2012. – 83 с.
8. Корженевич І. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2 / Залізничний транспорт України, 2010, №5. – с. 79–82.