

## ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОГО РАДІУСА КРИВИХ В ПЛАНІ З УРАХУВАННЯМ РОЗПОДІЛУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Викладена методика обґрунтування мінімального радіусу кривої при впровадженні швидкісного руху на існуючій залізниці за умови передачі частини вантажопотоку на паралельний хід.

Изложена методика обоснования минимального радиуса кривой при введении скоростного движения на существующей железной дороге за счет передачи части грузопотока на параллельный ход.

The technique of a substantiation of the minimal radius of a curve is stated at introduction of high-speed movement on the existing railway due to transfer of a part of a freight traffic on a parallel course.

У склад міжнародних транспортних коридорів на території України входять двоколіїні залізниці з високою пропускною спроможністю. Однак і вони не відповідають вимогам МСЗ і ОСЗ, так як не забезпечують швидкість руху вантажних поїздів 100...120 км/год, пасажирських – 160...200 км/год.

Проблеми експлуатаційного і технічного характеру, що виникають при сумісному русі, пов'язані із співвідношенням швидкостей вантажних і пасажирських поїздів, розладами верхньої будови колії. При значній різниці у швидкостях пасажирських і вантажних поїздів може суттєво зменшитись провізна спроможність лінії, на якій впроваджується швидкісний рух.

На I-й всесвітній конференції з інфраструктури залізниць (Париж, 2003 р.) було відмічено, що технічно українські залізниці можуть забезпечити швидкість руху на головних напрямках до 200 км/год, але за умови, що вантажний рух буде відділений від пасажирського [1].

Кабінет Міністрів України 27 грудня 2006 р. затвердив «Концепцію Державної програми реформування залізничного транспорту». В ході реформування планується розділити вантажний і пасажирський рух, оскільки сполучені перевезення приводять до великих експлуатаційних витрат.

У пакеті пропозицій від Укрзалізниці, обов'язково буде розподіл вантажного і пасажирського руху на тих ділянках, де необхідно забезпечити максимальну швидкість поїздів за скороченим часом доставки пасажирів [2]. Пріоритетними, швидше за все, будуть визначені приведені нижче ділянки.

На рис.1 показана ділянка Київ–Львів найменше з двома можливими паралельними ходами. Перший через Коростень–Шепетівку–Здолбунів, а другий через Фастів–Жмеринка–Тернопіль. При чому, як показують існуючі розміри руху, доцільніше переключати вантажні поїзди на верхній хід, тоді як нижній віддати під пасажирський рух.



Рис. 1. Схема ділянки Київ-Львів

Наступним прикладом може стати напрямок Київ–Лозова (рис. 2). Як бачимо тут також спостерігається два паралельних напрямки: один через П'ятихатки, інший через Полтаву.

Але на даний момент паралельний хід Київ–Полтава–Донецьк недостатньо задіяний, тоді як хід через П'ятихатки досить перевантажений.



Рис. 2. Схема ділянки Київ–Лозова

Дніпропетровськ–Донецьк, ще одна ділянка з високими розмірами руху і можливістю переключення частки вантажопотоку з напрямку

Дніпропетровськ–Чаплине–Донецьк на паралельний хід Дніпропетровськ–Павлоград–Донецьк (рис. 3).



Рис. 3. Схема ділянки Дніпропетровськ - Донецьк

Наведені ділянки доводять можливість запровадження спеціалізованих пасажирських і вантажних залізничних напрямків на залізницях України. Але необхідно розглянути питання впливу перерозподілу вантажопотоків на вибір параметрів плану лінії, особливо в кривих ділянках колії.

Як відомо, основною причиною, що обмежує максимальну швидкість, є криві. Криві в більшості випадків визначають надійність роботи залізничної колії й рівень допустимої швидкості. Проблема визначення параметрів кривих, перш за все мінімального радіуса і підвищення зовнішньої рейки, існує і в європейських країнах. Так, у 2006 році на нараді експертів Комісії ОСЗ з інфраструктури і рухомому складу серед інших розглядалось питання оптимізації улаштування підвищення зовнішньої рей-

ки в кривих в умовах швидкісного руху суміщеного з вантажним [3].

У нормативному документі [4] сказано, що значення найменшого радіуса кривих при посиленні (реконструкції, модернізації) існуючих залізниць необхідно встановлювати залежно від швидкостей руху, які передбачаються, пасажирських і вантажних поїздів і значень радіусів кривих існуючої колії. Доцільність перебудови існуючих кривих, які обмежують намічені швидкості руху, повинна бути техніко-економічно обґрунтована.

Фактично на цьому вичерпуються рекомендації, що стосуються реконструкції існуючих залізниць. Не дають відповіді на це питання і будівельно-технічні норми Російської Федерації [5].

Методика визначення мінімальних радіусів кривих за умов забезпечення міцності й стійкості колії і рухомого складу, безпеки руху й комфорту пасажирів викладена в роботі проф. О. П. Єршкова [6].

Дотримання цих умов описується трьома розрахунковими формулами:

– забезпечення однакового силового впливу на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів

$$\sum G_{зові} = \sum G_{вні} ; \quad (1)$$

– неперевищення непогашених прискорень, спрямованих назовні кривої при проходженні найбільш швидкого поїзда

$$\alpha_{нп}^{пас} \leq [\alpha]_{зоб} ; \quad (2)$$

– обмеження непогашених прискорень, спрямованих усередину кривої при проходженні вантажного поїзда з найменшою швидкістю

$$\alpha_{нп}^{ван} \leq [\alpha]_{вн} . \quad (3)$$

Зі спільного розв'язку умов (1) і (2) отримаємо формулу для визначення так званого мінімально рекомендованого радіусу

$$R_{мин}^{рек} = \frac{V_{max}^{2 пас} - kV_{сер зв}^2}{3,6^2 [\alpha_{нп}]_{зоб}} , \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує зміщення центру ваги екіпажа в зовнішню сторону по відношенню до осі кривої.

З формули (4) випливає, що для визначення  $R_{мин}^{рек}$  необхідно знати ходові швидкості поїздів усіх категорій  $V_i$ , дані про їхню кількість  $N_i$  і масу  $Q_i$ . Тоді середньозважену швидкість можна визначити за формулою

$$V_{сер зв}^2 = \frac{\sum N_i Q_i V_i^2}{\sum N_i Q_i} . \quad (5)$$

Шлях отримання об'єктивної інформації досить складний і трудомісткий. Відповідно до [7] пропонується робити добір швидкостемірних стрічок протягом півроку по кожному виду поїздів і по них визначити швидкість конкретного поїзда. Однак і в тому випадку, коли б удалося вибрати зі швидкостемірів фактичні швидкості поїздів, що пройшли за рік, не можна впевнено сказати, яка буде середньозважена швидкість, що відповідає перевезенням майбутнього року. Це питання вимагає додаткового дослідження.

Друга складність – це розрахункові маси поїздів. Вони приймалися відповідними вагові нормі поїзда даної категорії. Аналіз розподілу мас поїздів різних категорій  $N_i$  і для різних діапазонів швидкостей  $V_i$  показав, що маси можуть змінюватися в широкому діапазоні  $Q_i$  [8].

Одним з можливих шляхів вирішення задачі є математичне моделювання руху потоку поїздів і на цій основі прогнозування середньозваженої швидкості й підвищення зовнішньої рейки на перспективу.

Для прогнозування розподілу швидкостей на ділянках залізниць, де передбачається впровадження швидкісного руху поїздів, були використані теоретичні криві за типом таких, які наведені в роботі [9]. Фрагмент такого розподілу для пасажирських і вантажних поїздів показаний на рис. 4.

Середньоквадратичні відхилення  $\sigma_v^{пас}$ ,  $\sigma_v^{ван}$  установлювалися на основі статистичної обробки матеріалів з урахуванням перспективного прогнозу. Максимальні швидкості руху пасажирських, вантажних повновагових і повноскладних поїздів визначались тяговими розрахунками.

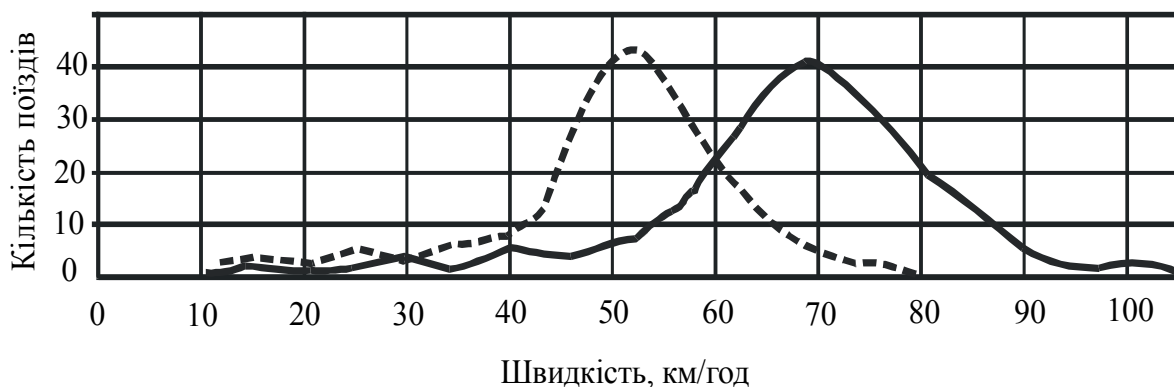


Рис. 4. Розподіл фактично реалізованих швидкостей руху (суцільна лінія відповідає пасажирському, а пунктирна – вантажному руху)

Таким чином, потік поїздів подається у вигляді тривимірної поверхні, що визначає кількість поїздів для заданої швидкості і маси і описується рівнянням  $N = f_F(V, Q)$ .

З метою наближення функції  $f_F$  до реальних умов експлуатації, потік поїздів розбивається на категорії, для кожної з яких задаються

параметри законів розподілу. Фрагмент роботи програми наведений на рис. 5.

За допомогою цієї програми були виконані розрахунки середньозваженої швидкості при передачі вантажних поїздів на паралельний хід при різній кількості пасажирських поїздів в потці (рис. 6).

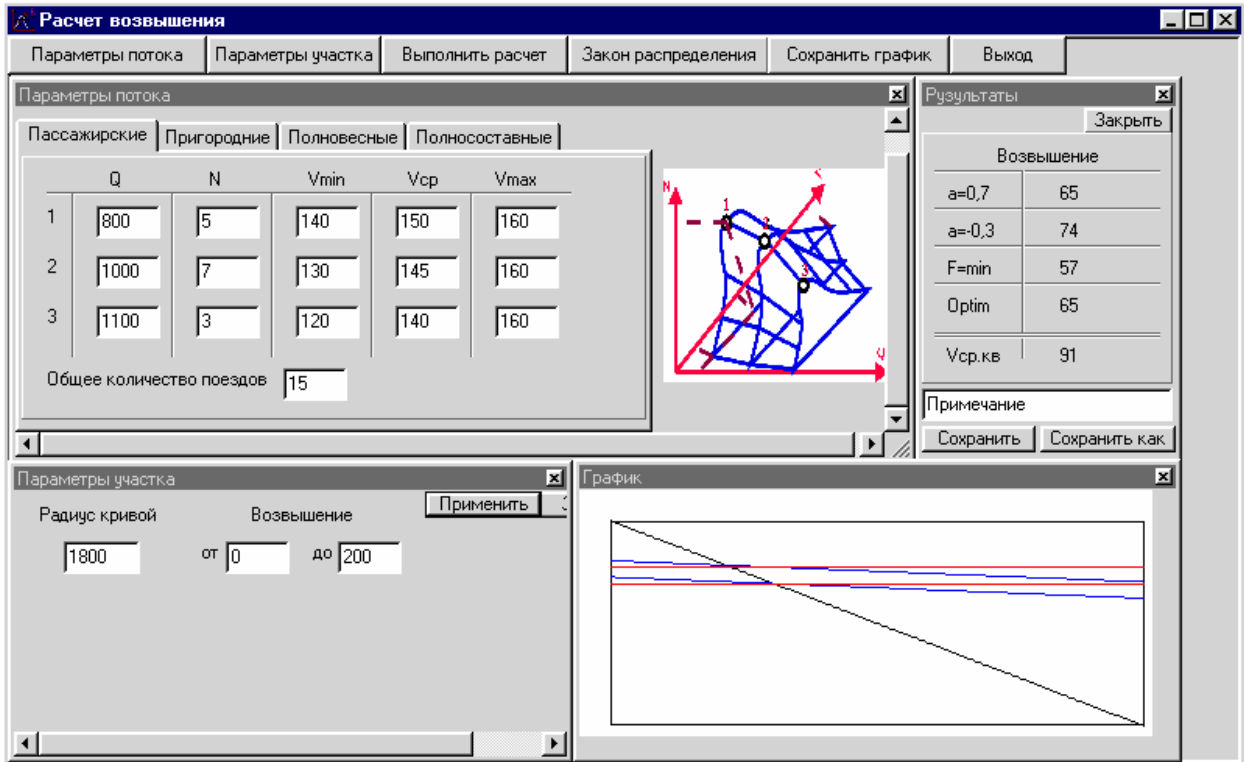


Рис. 5. Фрагмент работы программы

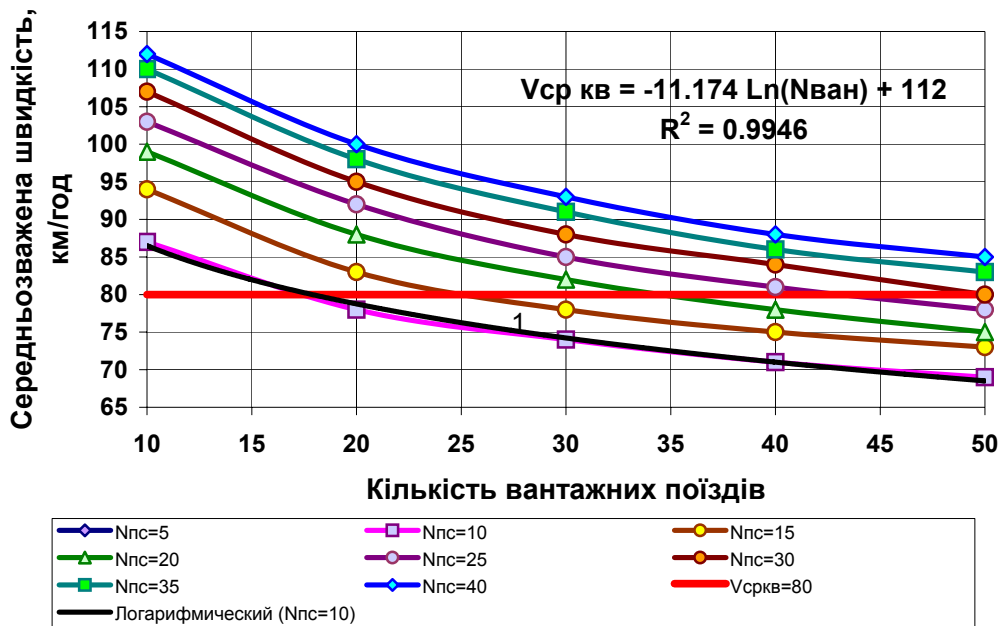


Рис. 6. Залежність середньозваженої швидкості від структури поїздопотуку

Криві, що наведені на рис. 6, можна апроксимувати логарифмічними функціями. Наприклад, при постійній кількості пасажирських поїздів  $N_{\text{пас}} = 10$  пар/добу маємо

$$V_{\text{сер.кв}} = -11,174 \cdot \ln(N_{\text{ван}}) + 112. \quad (6)$$

Використовуючи формулу (6), визначаємо, наскільки можна збільшити підвищення в кривих (7), допустиму швидкість руху (8) і при якому мінімальному радіусі (4) можна забезпечити встановлену максимальну швидкість

$$\Delta h = \frac{12,5 \cdot (V_{\text{серзв}(i+1)}^2 - V_{\text{серзв}(i)}^2)}{R}. \quad (7)$$

$$\Delta V_{\text{доп}} = 3,6 \sqrt{R \left( [\alpha_{\text{нп}}] + \frac{g}{S} \Delta h \right)}. \quad (8)$$

Вибіркові результати розрахунків наведені в табл. 1.

Аналіз даних табл. 1 показує, що максимальну швидкість (у прикладі 140 км/год) можна забезпечити на існуючій залізниці (до переключення вантажопотоку) в кривих радіусом  $R_{\text{min}}^{\text{рек}} \geq 1646$  м, а після передачі 40 пар поїздів/добу на паралельний хід – в кривих  $R_{\text{min}}^{\text{рек}} \geq 1340$  м. Таке рішення прийняте за умови виконання всіх трьох вимог (1-3).

При збільшенні розмірів пасажирського руху чи передачі частини вантажних поїздів на паралельні ходи зростає середньозважена швидкість, отже при меншому значенні  $R_{\text{min}}^{\text{рек}}$  можна буде реалізувати максимальну швидкість швидкісними поїздами (рис. 7).

Таблиця 1

Параметри кривих в залежності від структури поїздопоту при встановленій максимальній швидкості для пасажирських поїздів 140 км/год

Кількість вантажних поїздів, пар/добу		Середньозважена швидкість, км/год		Розрахункове підвищення, мм		Мінімально рекомендуємий радіус кривої, м	
була	стала	була	стала	було	стало	був	Став
50	40	68,3	70,8	35	40	1646	1608
50	30	68,3	74,0	35	45	1646	1557
50	20	68,3	78,5	35	55	1646	1481
50	10	68,3	86,3	35	70	1646	1340

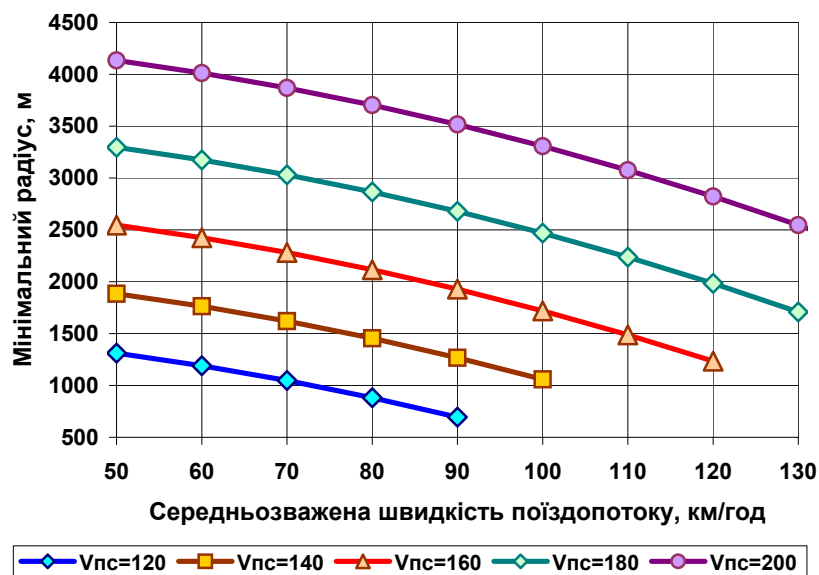


Рис. 7. Залежність мінімального радіуса кривої від швидкості руху  $V_{\text{пас}}^{\text{макс}}$  і середньозваженої швидкості потоку поїздів  $V_{\text{серзв}}$

Але на даний час у Європі відмовились від виконання першої умови і виходять лише з виконання 2 і 3 умов. Такої ж точки зору дотримувався, наприклад, в Росії професор С. П. Першин [10]. Знайдений радіус при цьому зазвичай називають мінімально допустимим (9)

$$R_{\min}^{\text{доп}} = \frac{V_{\max \text{ пас}}^2 - V_{\min \text{ ван}}^2}{3,6^2 ([\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}} - [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{вн}})} \quad (9)$$

Мінімально допустимий радіус напряму залежить від мінімальної швидкості вантажного

поїзда, яка може суттєво змінюватись при переключенні вантажопотоків. Так як на паралельний хід в першу чергу передаються найбільш важкі та тихохідні поїзди, а залишаються поїзди з достатньо великою швидкістю та невеликою масою, (наприклад, контейнерні), то мінімальна швидкість поїздів може збільшитись від 40 до 80 км/год.

На рис. 8 показана залежність мінімального радіусу при збільшенні мінімальної швидкості поїздів.

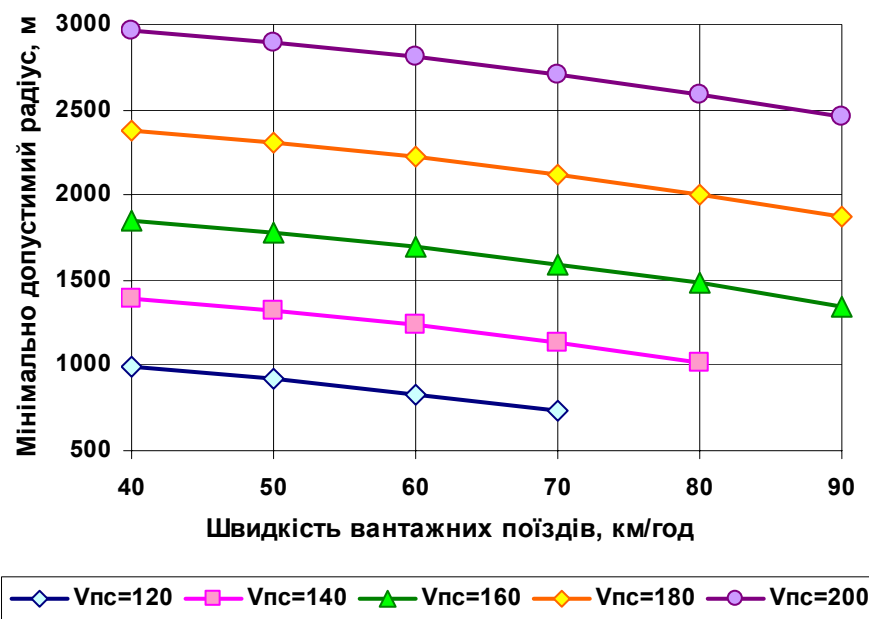


Рис. 8. Залежність мінімального радіусу від максимальної швидкості і швидкості вантажних поїздів

Так, при проходженні кривої радіусом 1000 м, до переключення вантажопотоку можна реалізувати максимальну швидкість 120 км/год, при передачі більшої частини вантажних поїздів на паралельний хід (тобто при скороченні різниці в швидкостях, при  $V_{\min}^{\text{ван}} = 80$  км/год) в кривій такого радіусу можна досягти швидкості 140 км/год. Або ж можна розглянути це з іншого боку, що до передачі вантажопотоку швидкість 140 км/год реалізовувались лише у кривих не менш 1400 м, після передачі таку ж швидкість можна досягти і на кривих з радіусами 1000 м.

### Висновки

1. Відокремлення пасажирського і вантажного рухів є актуальним і досить важливим питанням при впровадженні прискореного та швидкісного руху поїздів.

2. Зі зміною структури поїздопотоку необхідно переглянути параметри плану лінії одним з яких є мінімальний радіус кривих.

3. Переключення вантажопотоків на паралельний хід надає можливість прийняти менше значення мінімального радіусу для реалізації максимальної швидкості і, таким чином, скоротити витрати на перебудову кривих малого радіусу.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Костюк М. Д. В путевом хозяйстве все путем / Железнодорожный транспорт. – К., 2003. – С.7-12.
2. Кранц Й. М. Скорость – дорогое удовольствие / Магістраль, № 14(1192), 28 лютого – 6 березня 2007 р. – С. 2.
3. Технические нормативы и диагностика железнодорожного пути для скоростного и высокоскоростного движения / Протокол совещания экспертов Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу. Балатонбоглар, Венгерская Республика, 07– 09 июня 2006 г.

4. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. (ДВН В.2.3-0000-2006). – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 150 с.
5. Строительно-технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. СТН Ц-01-95. – М., 1995. – 86 с.
6. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) / Под ред. Н. В. Колодяжного. – М.: Транспорт, 1976. – 415 с.
7. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих / А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко, Л. Я. Воробейчик, В. І. Климов, М. Б. Курган: ЦП/0056: Затв. наказом Укрзалізничці від 27.04.99 №124-Ц. – Дніпропетровськ: Арт-Прес, 1999. – 44 с.
8. Определение параметров плана линии при организации скоростного сообщения Западная Европа–Львов / Е. П. Блохин, Г. Н. Кирпа, И. П. Корженевич, Н. Б. Курган Н. Б. // Транспорт: Зб. наук. праць ДПТУ. – Д.: Арт-Прес, 2000. – Вип. 6. – С. 21-28.
9. Определение возвышения наружных рельсов в кривых по фактическим скоростям движения поездов / А. Н. Орловский, В. В. Цыганенко, Л. Я. Воробейчик, А. М. Патласов // Залізничний транспорт України. – 1999. – №4. – С. 10-12.
10. Першин С. П. Силовые воздействия поездов на путь и безопасность движения // Ж.-д. транспорт. Сер. Путь и путевое хозяйство: ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС. – М., -1997. -Вып. 4. - С. 1-41.
11. Моделирование поездопотока для расчета возвышения наружного рельса в кривых / Г. Н. Кирпа, И. П. Корженевич, Н. Б. Курган, Д. Н. Курган // Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojedznych. Materiały 11 konf. miedzynarodowej. – Rzeszow: Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukaszewicza, 2000. – S. 165-176.
12. Сопряжения кривых и особенности движения подвижного состава по ним / Под ред. д-ра техн. наук О. П. Ершкова. – М.: Транспорт, – 1973. – 96 с. – (Тр. ЦНИИ МПС; Вып. 500).

Надійшла до редколегії 31.05.2007.