

---

УДК 656.022

**ОПТИМІЗАЦІЯ ОБІГУ ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ НА  
ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ**

Канд. техн. наук Я. В. Запара, А. В. Морозова

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАЩЕНИЯ СКОРОСТНЫХ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ  
ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ**

Канд. техн. наук Я. В. Запара, А. В. Морозова

**OPTIMIZATION OF TREATMENT EXPRESSWAY AND HIGH-SPED TRAINS OF  
RAILWAYS OF UKRAINE**

Cand. of techn. sciences Y. Zapara, A. Morozova

*Визначено оптимальний обіг швидкісних і високошвидкісних поїздів на залізницях України, що дозволяє відповідно ефективно використовувати рухомий склад та інфраструктурні об'єкти. При застосуванні запропонованої методики отримано, що ув'язка пар поїздів у загальний обіг групами составів дала значну економію порівняно з тими, які оберталися до ув'язки.*

**Ключові слова:** оптимізація, обіг, пасажирські перевезення, швидкісні поїзди, високошвидкісні поїзди.

*Определен оптимальный оборот скоростных и высокоскоростных поездов на железных дорогах Украины, что позволяет соответственно эффективно использовать подвижной состав и инфраструктурные объекты. При применении предложенной методики получено, что увязка пар поездов в общий оборот группами составов дала значительную экономию в сравнении с обращающимися до увязки.*

**Ключевые слова:** оптимизация, обращение, пассажирские перевозки, скоростные поезда, высокоскоростные поезда.

*Prospects of development and high-speed passenger traffic. Examined scientific developments in this field. Formed purpose and research problems. To solve the problem taken special mathematical apparatus, the essence of which is that generalized concept introduced variations of sets, which allowed to offer original design feature sets and based on it to get the necessary conditions of extremum function set. The method of linking warehouses passenger trains in total turnover is dedicated to the reduction of excess downtime awaiting dispatch warehouse passenger train. The simulation results determined optimal circulation of high-speed and high-speed trains on the railways of Ukraine, which allows efficient use under the rolling stock and infrastructure facilities. When using the proposed method obtained that linking pairs of trains in general circulation groups formulations gave significant savings that turned to linking.*

**Keywords:** optimization, circulation, passenger transportation, high-speed trains, high-speed trains.

**Вступ.** Велика провізна спроможність залізниць, стабільність їх роботи і порівняна дешевизна перевезень сприяли тому, що залізничний транспорт був і залишається у країні основним перевізником пасажирів у міжміському (далекому) і приміському сполученні [1]. Однак сьогодні залізниці вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам, які висуваються до транспорту, насамперед щодо тривалості поїздок.

Радикальним заходом, який дасть залізницям змогу зберегти передові позиції у сфері пасажирських перевезень, є розвиток мережі швидкісних магістралей, що забезпечить значне зростання обсягів залізничних перевезень, у тому числі за рахунок залучення пасажирів з інших видів транспорту. Це підтверджує і досвід країн Західної Європи, де завдяки підвищенню швидкості руху поїздів залізниці мають перевагу перед авто- та авіатранспортом на відстані 250-500 кілометрів і на рівних конкурують з авіацією в діапазоні 500-1000 кілометрів.

Залученню залізницями додаткових обсягів міжміських і міжнародних перевезень сприятиме також підвищення мобільності населення в результаті позитивних змін в економіці та соціальній сфері, розширення міжнародного співробітництва [2].

Привабливість залізничних перевезень зростатиме і завдяки тому, що з впровадженням швидкісного руху з'явиться можливість організації руху денних поїздів, значно зручніших для поїздок порівняно зі звичайними пасажирськими поїздами, які перебувають у дорозі переважно в нічний час.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розвитку швидкісного та високошвидкісного руху приділено достатньо уваги в останні роки [3, 4]. Відповідні наукові праці вчених стосувались широкого спектра питань: підвищення якості обслуговування пасажирів, удосконалення технології роботи вокзальних комплексів, диспетчерське керування швидкісним і

високошвидкісним рухом тощо. Слід відзначити напрацювання таких вчених: Т.В. Бутько, В.Л. Дикань, С.С. Жабров, Г.М. Кірпа, А.В. Прохорченко, Е.А. Сотніков та ін. [5-8]. Серед наукових праць недостатньо уваги приділено математичному обґрунтуванню вибору оптимального обігу використання швидкісних і високошвидкісних поїздів.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою роботи є розроблення оптимального обігу швидкісних і високошвидкісних поїздів в Україні, який би дозволив ефективно використовувати рухомий склад та інфраструктурні об'єкти.

**Основна частина дослідження.** У якості математичної моделі мережі ліній приймаємо неорієнтований граф з вершинами, що відповідають містам, які будуть охоплені високошвидкісним пасажирським рухом поїздів, і ребрами графа, відповідними лініям мережі.

Якщо ми бажаємо охопити високошвидкісним рухом  $N$  міст, то перелік ребер  $E$  буде відповідати тій чи іншій мережі ліній регіональних філій.

Витрати на будівництво мережі можна обчислити за формулою

$$Z(E) = \sum_E C(e), \quad (1)$$

а час перебування пасажирів у дорозі пердставити у вигляді:

$$T(E) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{P_{ij} R_{ij}(E)}{U_{ij}}, \quad (2)$$

де  $C(e)$  – витрати на будівництво лінії;

$R_{ij}(E)$  – найкоротша відстань між містами  $i$  та  $j$  на мережі, відповідно набору ребер  $T$ ;

$P_{ij}$  – пасажиропотік між містами  $i$  та  $j$ ;

$U_{ij}$  – маршрутна швидкість між містами  $i$  та  $j$ .

Бажання зробити якомога меншими витрати коштів і часу призводить до задачі

$$\begin{pmatrix} Z(E) \\ T(E) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad (3)$$

що являє собою задачу векторної оптимізації, обтяжену тим, що функції  $Z(E)$  і

$T(E)$  є функціями множини  $E \subseteq E; E$  -

набір ребер.

Зазначимо, що будемо розуміти під розв'язанням задачі. Мережа  $E^*$  буде називатися ефективною, якщо будь-яка її варіація призводить до збільшення  $Z$  або  $T$ .

Для розв'язання задачі використано спеціальний математичний апарат, суть якого полягає в тому, що введено узагальнене поняття варіації множин, яке дозволило запропонувати конструкцію похідної функції множин і на її основі отримувати необхідні умови екстремуму функції множини. Очевидно, що ввівши функції множин

$$F_1(E) = \sum_E l(e), \quad (4)$$

$$F_2(E) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N P_{ij} R_{ij}(E), \quad (5)$$

ми, з одного боку, значно скорочуємо інформаційне забезпечення задачі, з іншого боку, має місце співвідношення

$$Z(E) \leq C F_1(E), \quad (6)$$

$$T(E) \leq \frac{1}{v} F_2(E), \quad (7)$$

де  $C$  - максимальна вартість одиниці довжини шляху;

$v$  - мінімальна маршрутна швидкість.

Тоді замість задачі (1) можна розглядати таку задачу (2):

$$\begin{pmatrix} F_1(E) \\ F_2(E) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (8)$$

$$\text{sign} \left( D_{B_n} F(E_*) \right) = \text{sign} \left( D_{B_n} F(E_*) \right) \leq 0, \quad (9)$$

а у випадку

$$\left( D_{B_n} F(E_*) \right) = \left( D_{B_n} F(E_*) \right) \leq 0 \quad (10)$$

внутрішня похідна по мірі  $\mu$

$$\frac{dF(E)}{d\mu} \Big|_{B_n} \leq 0, \quad (11)$$

де  $B_n$  – послідовність множин, що сходяться до внутрішньої точки множин  $(E)$ ;

$D_{B_n} F(E)$ ,  $D_{B_n} F(E)$  – верхні і нижні похідні числа на послідовності  $(B_n)$ .

Для швидкісного руху прогнозувати капітальні вкладення на розвиток власної та залізничної інфраструктури значно легше, оскільки в Україні накопичено значний досвід підготовки інфраструктури до швидкісного руху. Проте додатково слід додати витрати ПАТ «Укрзалізниця» на розподіл вантажних і пасажирських перевезень по різних напрямках. У той же час слід враховувати те, що реконструкція колій для швидкісного руху зі швидкістю до 200 км/год потребує значно більше капітальних вкладень, ніж на попередніх етапах реформування [9].

Методика ув'язки составів пасажирських поїздів у загальний обіг присвячена скороченню наднормативного часу простою в очікуванні відправлення составів пасажирського поїзда. У ній обґрунтовано вибір часових зон для ув'язки составів з різним часом знаходження на шляху прямування та їх взаємозв'язок з

при  $E \leq \bar{E}$ .

Якщо множина  $E$  доставляє мінімум функції  $F(E)$ , то з необхідністю має місце

моментами закінчення підготовки до рейсу і готовності до відправлення. Варіанти обслуговування поїздів зв'язаними в загальний обіг складами залежать від конфігурації мережі, схем обігу поїздів між цими станціями, комбінацій маршрутів прямування складів, станцій приписки і обігу, приналежності рухомого складу.

Проведені дослідження показали: якщо відстані між станціями однакові і всі поїзди належать до однієї годинної зони, тоді застосування методики ув'язки составів у єдиний обіг може дати ефект тільки в разі наявності великої кількості поїздів, щоб отримати сумарну економію непродуктивного простою у вигляді 24 годин.

Якщо всі поїзди належать до різних годинних зон, тоді максимальний ефект може бути досягнутий за рахунок застосування комплексу заходів: як ув'язки составів пасажирських швидкісних і високошвидкісних поїздів у єдиний обіг, так і коригування розкладів прибуття і відправлення поїздів при суворому дотриманні всіх встановлених обмежень, у тому числі технологічних.

Якщо при ув'язці в загальний обіг состави мають різні композиції, то їх необхідно перевірити на відповідність попиту пасажирів за кількістю місць, за типами вагонів на різних призначеннях. Завдання зводиться до того, щоб на відомому полігоні мережі при заданому плані формування швидкісних і високошвидкісних поїздів і наявному вагонному парку визначити такі композиції схем формування составів, які б максимально відповідали попиту пасажирів на місця за

класами вагонів, забезпечували перевезення запланованого пасажиропотоку і заданий прибуток залізничному транспорту при обмеженнях, за коефіцієнтом

використання місткості вагонів, за величиною состава поїзда, за величиною наявного парку вагонів. Критерієм є мінімум відмов від поїздки

$$F_{om} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [a_x x_{ij} (a_{ij}^{y \rightarrow x} + a_{ij}^{z \rightarrow x}) + a_y y_{ij} (a_{ij}^{x \rightarrow y} + a_{ij}^{z \rightarrow y})] \rightarrow \min \quad (12)$$

де  $x_{ij}, y_{ij}$  – шукана кількість відповідно вагонів 1-го, 2-го класу;

$a_x, a_y$  – місткість відповідно вагонів 1-го, 2-го класу;

$a_{ij}^{y \rightarrow x}, a_{ij}^{z \rightarrow x}$  – вірогідність відмови пасажирів від поїздки при незадоволенні попиту на місце у вагоні 1-го класу (у такому разі надати місце у 2-му класі);

$a_{ij}^{z \rightarrow x}, a_{ij}^{z \rightarrow y}$  – вірогідність відмови пасажирів від поїздки при незадоволенні попиту на місце у вагоні 2-го класу (у такому разі надати місце в 1-му класі).

При застосуванні запропонованої методики були отримані такі результати: ув'язка восьми пар поїздів у загальний обіг трьома групами составів дала економію

чотирьох составів з 24, що оберталися до ув'язки.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Визначено аспекти розвитку високошвидкісного і швидкісного пасажирського руху на залізничних магістралях України. На основі математичного моделювання визначено оптимальний обіг зазначених категорій поїздів, що дозволяє відповідно ефективно використовувати рухомий склад та інфраструктурні об'єкти. У подальшому ефективне керування швидкісним (а в перспективі високошвидкісним) пасажирським залізничним рухом на Україні виведе транспортну систему на новий якісний європейський і світовий рівень.

### Список використаних джерел

1. Босов, А. А., Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине [Текст] / А.А. Босов, Г.Н. Кирпа. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2004. – 144 с.
2. Железные дороги мира в XXI веке [Текст] / под общ. ред. Г.Н. Кирпы. – Днепропетровск: ДНУЖТ им. ак. В. Лазаряна, 2004. – 224 с.
3. Бутько, Т. В. Удосконалення підходів щодо розвитку швидкісного і високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України [Текст] / Т.В. Бутько, Л.О. Пархоменко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. – №4 (Дод.). – С.14.
4. Жабров, С. С. Реформування залізничного транспорту України в контексті світового досвіду [Текст] / С.С. Жабров, Е.А. Сотников, В.И. Ковалев // Железнодорожный транспорт. – 1998. – №4. – С. 39-42.
5. Дикань, В. Л. Скоростное движение железнодорожного транспорта в мире и перспективы развития в Украине [Текст] / В.Л. Дикань, И.В. Корнилова // Вісник економіки транспорту та промисловості. – 2010. – №32. – С. 15-25.

6. Момот, А. В. Економічна ефективність високошвидкісних пасажирських залізничних перевезень в Україні [Текст]: дис...канд. екон. наук / А.В. Момот. – Дніпропетровськ, 2014. – 192 с.

7. Запара, Я. В. Дослідження та аналіз причин недостатнього розвитку швидкісного залізничного руху в Україні [Текст] / Я.В. Запара, О.В. Биков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С.58-62.

8. Watling, D.P. Cordon toll competition in a network of two cities: Formulation and sensitivity to traveler route and demand responses [Text]: I. Shepherd, A. Koch // Transportation Research Part B: Methodological. – Vol. 76, June 2015. – P. 93-116.

9. Підтримка інтеграції України до Транс-європейської транспортної мережі ТЄМ-Т: РК.2 Швидкісний залізничний транспорт. Заключний звіт 2.1, 2010 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ten-t.org.ua/ua/>.

---

Запара Ярослав Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85. E-mail: [y.zapara@gmail.com](mailto:y.zapara@gmail.com).  
Морозова Альона Вікторівна, магістр кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: [cataley@ukr.net](mailto:cataley@ukr.net).

Zapara Yaroslav, Ph.D., lecturer of management of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-10-85. E-mail: [y.zapara@gmail.com](mailto:y.zapara@gmail.com).  
Morozova Alona, master department of trucks and commercial work Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: [cataley@ukr.net](mailto:cataley@ukr.net).

Стаття прийнята 02.09.2016 р.