

## ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ

Наведено методику раціонального розподілу поїздопотоків на мережі залізниць за декількома показниками.

Приведена методика рационального распределения поездопотоков на сети железных дорог по нескольким показателям.

A technique of rational distribution of train traffic streams on the system of railways by a few indices is presented.

Однією з основних задач при модернізації міжнародних транспортних коридорів є відділення вантажного руху від пасажирського [1, 2, 3]. Першим кроком до її вирішення була розроблена в 2007 році Укрзалізницею схема розмежування вантажного та пасажирського руху для підвищення швидкості пасажирських поїздів на окремих ділянках після їх реконструкції. Суміщений рух пасажирських і вантажних поїздів негативно впливає на умови експлуатації і плавність руху, сприяє інтенсивному розладу колії. Ідея розмежування базується на тому, що на мережі залізниць можна виділити станції, між якими існує декілька паралельних маршрутів, що дає можливість частково або навіть повністю закріпити той чи інший маршрут за певною категорією поїздів.

Для вирішення задачі яку кількість поїздів якої категорії по якому саме маршруту треба попускати необхідно враховувати різні показники: довжина маршруту, час руху, механічна робота локомотива, можлива швидкість руху, навантаження на колю та інші. Крім того слід мати на увазі певні граничні умови – такі як об'єм пасажиро- та вантажообігу, пропускна спроможність ділянок, допустима швидкість руху тощо.

Таким чином, розглянута проблема може вирішуватись як математична багатокритеріальна оптимізаційна задача [4]. Для цього мережа залізниць приймається у вигляді графа  $G(V, E)$ , де станції – це вершини графа (множина  $V$ ), а ділянки між ними – ребра графа (множина  $E$ ). Потік поїздів задається у вигляді матриці  $P_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ , де  $n$  – кількість станцій, а  $P_{ij}$  – кількість поїздів з пункту  $i$  в пункт  $j$ .

Враховуючи те, що від однієї станції до ін-

шої можна потрапити різними шляхами, відповідно до графа між пунктами  $i$  й  $j$  існує  $W_{ij}$  простих шляхів. Кожне ребро  $e \in E$  буде характеризуватися трьома параметрами:

$d(e)$  – довжина ребра  $e$ ;

$t(e)$  – час руху поїзда по ребру  $e$ ;

$m(e)$  – механічна робота при русі поїзда по ребру  $e$ .

Позначимо через  $X_{i,j,w}$  кількість поїздів, що рухаються із пункту  $i$  в пункт  $j$  по  $w$ -му простому шляху з переліку  $W_{ij}$ .

Тоді

$$P_r = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{w \in W_{ij}} P(w) X_{i,j,w} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $P(w)$  – сумарне значення показника простого шляху  $w$  з переліку  $W_{ij}$ .

Мінімальне значення  $P_r$  визначаємо з урахуванням поїздопотоків, тобто

$$\sum_{w \in W_{ij}} X_{i,j,w} = P_{ij}; \quad i = \overline{1, n-1}; \quad i+1 \leq j \leq n. \quad (2)$$

До даних обмежень додається обмеження за пропускною спроможністю кожного ребра:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{w \in W_{ij}} I_w(e) X_{i,j,w} \leq N(e); \quad e \in E, \quad (3)$$

де  $I_w(e)$  – індикатор ребра  $e$  для шляху  $w$ ,

$$\begin{cases} I_w(e) = 1, e \in w; \\ I_w(e) = 0, e \notin w, \end{cases}$$

$N(e)$  – пропускна спроможність ребра  $e$ .

Можна розглядати різні показники оптимізації: поїздо-кілометри ( $P_1$ ), поїздо-години ( $P_2$ ), механічну роботу локомотива ( $P_3$ ). Так, поїздо-кілометри і тонно-кілометри (брутто) відображають технічну і вантажну роботу залізниць, поїздо-години – середню швидкість руху поїздів, а механічна робота локомотива – витрати електроенергії чи дизельного палива.

$$\begin{aligned} P_1 &= \sum_{i,j \in V} \sum_{w \in W_{ij}} d(w) X_{ijw}; \\ P_2 &= \sum_{i,j \in V} \sum_{w \in W_{ij}} t(w) X_{ijw}; \\ P_3 &= \sum_{i,j \in V} \sum_{w \in W_{ij}} m(w) X_{ijw}, \end{aligned} \quad (4)$$

де

$$\begin{aligned} d(w) &= \sum_{e \in w} d(e); \\ t(w) &= \sum_{e \in w} t(e); \\ m(w) &= \sum_{e \in w} m(e). \end{aligned} \quad (5)$$

Можна вирішувати як задачі лінійного програмування (задачі 1 – 3), так і задачі векторної оптимізації у лінійній постановці (задачі 4 – 7):

Задача 1.

$$P_1 \rightarrow \min \quad P_2 \leq \bar{P}_2; \quad P_3 \leq \bar{P}_3;$$

Задача 2.

$$P_2 \rightarrow \min \quad P_1 \leq \bar{P}_1; \quad P_3 \leq \bar{P}_3;$$

Задача 3.

$$P_3 \rightarrow \min \quad P_1 \leq \bar{P}_1; \quad P_2 \leq \bar{P}_2;$$

Задача 4.  $\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad P_3 \leq \bar{P}_3;$

Задача 5.  $\begin{pmatrix} P_1 \\ P_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad P_2 \leq \bar{P}_2;$

Задача 6.  $\begin{pmatrix} P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad P_1 \leq \bar{P}_1;$

Задача 7.  $\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min ,$

де  $\bar{P}_i$  – максимально допустиме значення  $i$ -того показника.

Наприклад, для розв'язання задачі 4 у просторі функціоналів ( $P_1, P_2$ ) вводимо одиничний вектор  $u$  з координатами:

$$\begin{cases} u_1 = \cos \varphi; \\ u_2 = \sin \varphi \end{cases} \quad (6)$$

і розглядаємо задачу

$$L = t \rightarrow \min , \quad (7)$$

де  $L$  – показник раціональності, за умови

$$\begin{cases} P_1 = u_1 \cdot t; \\ P_2 = u_2 \cdot t; \\ P_3 \leq \bar{P}_3, \end{cases} \quad (8)$$

враховуючи зазначені вище обмеження.

Для  $\varphi \in [\varphi_1; \varphi_2]$  отримуємо рішення  $X_{ijw}(\varphi)$  і значення  $P_1(\varphi), P_2(\varphi), P_3(\varphi)$  з кроком  $\Delta\varphi$ , де  $\varphi$  представляє собою співвідношення механічної роботи до часу руху,  $\varphi_1$  – відношення мінімального значення механічної роботи до часу ходу, а  $\varphi_2$  – відношення механічної роботи до мінімального часу руху. Кількість таких варіацій залежить від кроку  $\Delta\varphi$ .

На прикладі мережі залізниць, що зв'язує Львів і Київ, було виконано дослідження з визначення раціонального розподілу пасажирських та вантажних поїздів. При організації швидкісного сполучення між Києвом і Львовом постає питання вибору найбільш ефективного варіанту маршруту доставки пасажирів.

Відповідно до графіку руху [5, 6] на рис. 1 показано існуючі маршрути руху поїздів між Києвом і Львовом. Так, швидкий поїзд № 7/8 Київ – Чоп «Дукла» рухається через ст. Жмеринка (південний варіант). Довжина маршруту до Львова 622 км, середня маршрутна швидкість близько 65 км/год. Поїзд № 43/44 Івано-Франківськ – Київ «Прикарпаття» рухається за маршрутом Львів – Здолбунів – Шепетівка – Коростень – Київ (північний варіант). Довжина маршруту від Львова до Києва 565 км, середня маршрутна швидкість близько 64 км/год. За цим же маршрутом курсує прискорений поїзд № 169/170 Київ – Львів «Київський експрес» із маршрутною швидкістю 88 км/год. Між північним і південним варіантами є проміжні. Наприклад, поїзд № 147/148 Київ – Львів «Львів» за наказом може курсувати за маршрутом Київ – Козятин – Шепетівка – Здолбунів – Львів. Довжина маршруту 568 км, середня ходова швидкістю близько 73 км/год.

Кожний варіант має як свої плюси, так і мінуси.



Рис. 1. Існуючі маршрути руху поїздів між Києвом і Львовом:  
 північний: Київ – Коростень – Шепетівка – Здолбунів – Львів; південний: Київ – Жмеринка – Львів;  
 проміжний: Київ – Козятин – Шепетівка – Здолбунів – Львів.

Північний варіант (Київ – Коростень – Здолбунів – Львів) у якості переваг має такі аргументи:

- Північний хід майже на 60 км коротший від південного варіанту.

- Пасажирообіг між Києвом і Львовом складає близько 4 тис. чоловік на добу. Швидкісний поїзд буде цілком завантажуватися від початкової до кінцевої станції, і відсутність великих обласних центрів на цьому напрямку не впливає на організацію перевезень, оскільки як немає потреби в проміжних зупинках.

- Складовою частиною південного варіанту є вантажонапружена ділянка Київ – Козятин, де зараз курсує більш як 60 пар поїздів (рис. 2 і 3). У північному варіанті ця ділянка не задіяна і додаткового навантаження на неї не очікується.

Південний варіант (Київ – Жмеринка – Львів) має багато обласних центрів. Після проведення реконструкції ділянки від Києва до Жмеринки, а потім на Львів, будемо мати половину готового шляху за напрямком від столиці до Одеси.

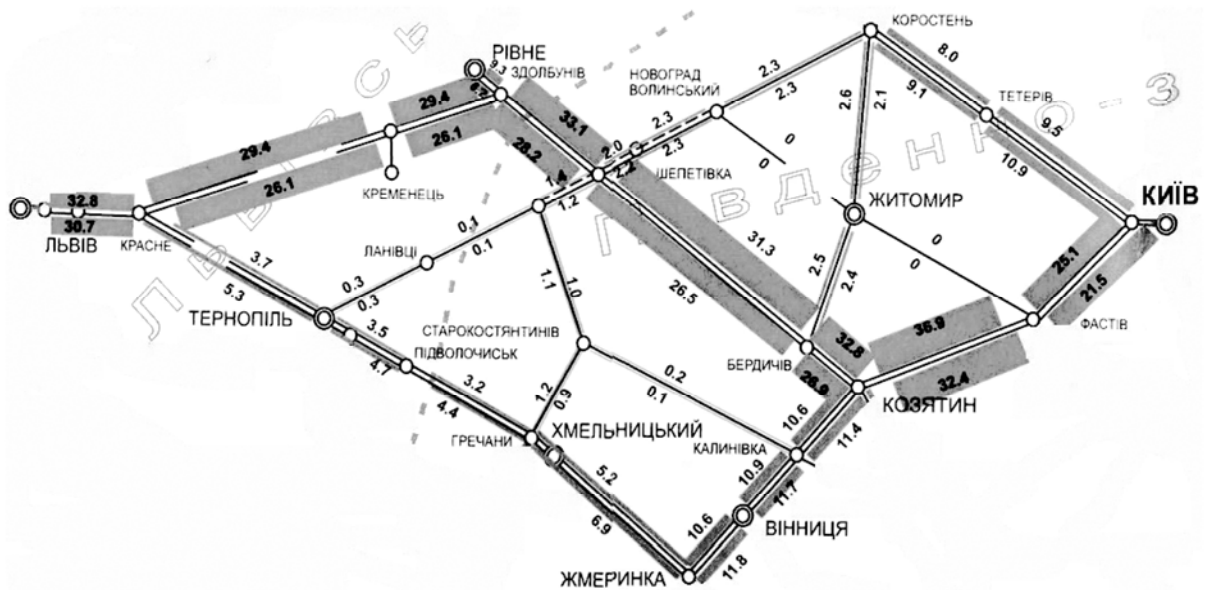


Рис. 2. Розміри вантажного руху (поїздів на добу)

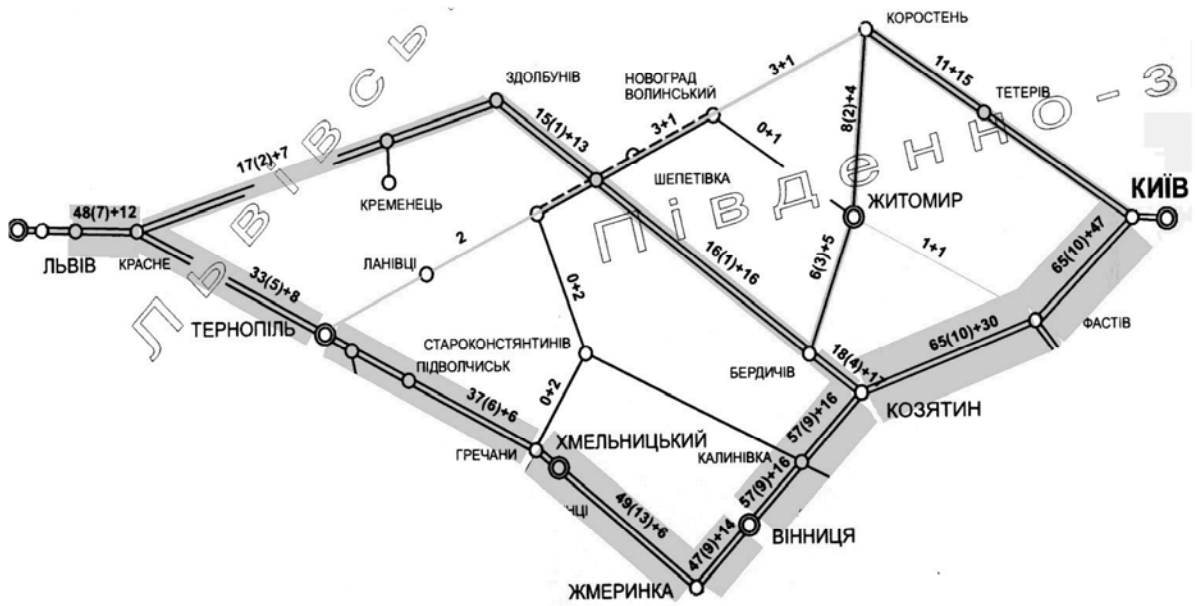


Рис. 3. Розміри пасажирського руху (пар поїздів на добу: щорічні (в тому числі літні) + приміські)

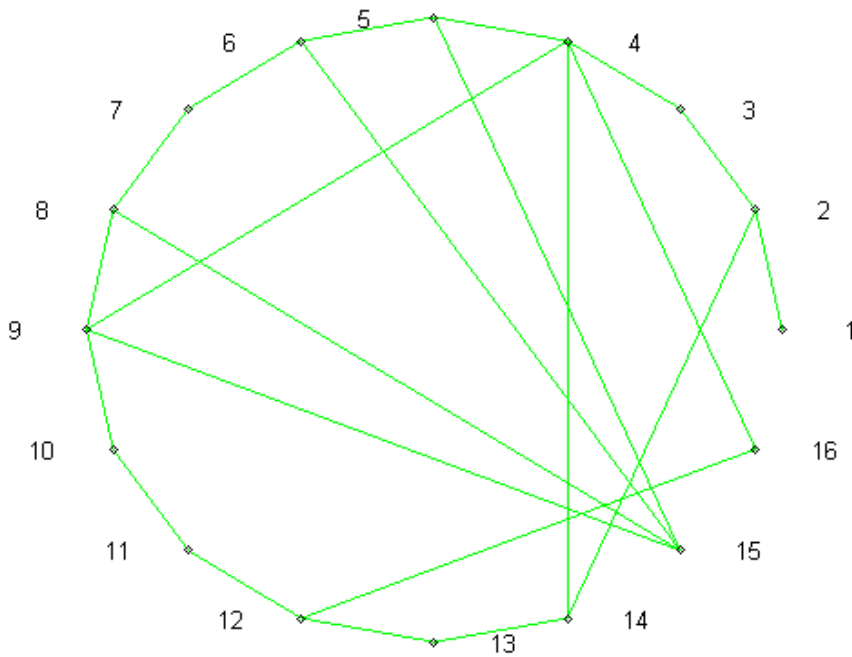


Рис. 4. Математична модель мережі у вигляді графа  $G(V, E)$

Для розв'язання задачі відповідно до мережі шляхів (рис. 1) створювалась математична модель у вигляді графа  $G(V, E)$  – рис. 4, та матриця потоку поїздів, яка відображає кількість поїздів, що прямують з початкової до кінцевої станції. Далі кожне ребро графа характеризувалось довжиною, часом руху та механічною роботою. При цьому задається обмеження за пропускною спроможністю ребра в залежності від кількості колій на ділянці та обмеження за до-

вжиною маршруту. Із врахуванням усіх показників було знайдено рішення за критерієм відношення механічної роботи до часу руху ( $\varphi$ ) в межах від найменшого часу руху до найменшої механічної роботи.

Нижче наведено варіанти співвідношень механічної роботи та часу руху за різних значень  $\varphi$  з кроком  $\Delta\varphi = 0,001$  та  $\Delta\varphi = 0,0002$  (рис. 5 і 6).

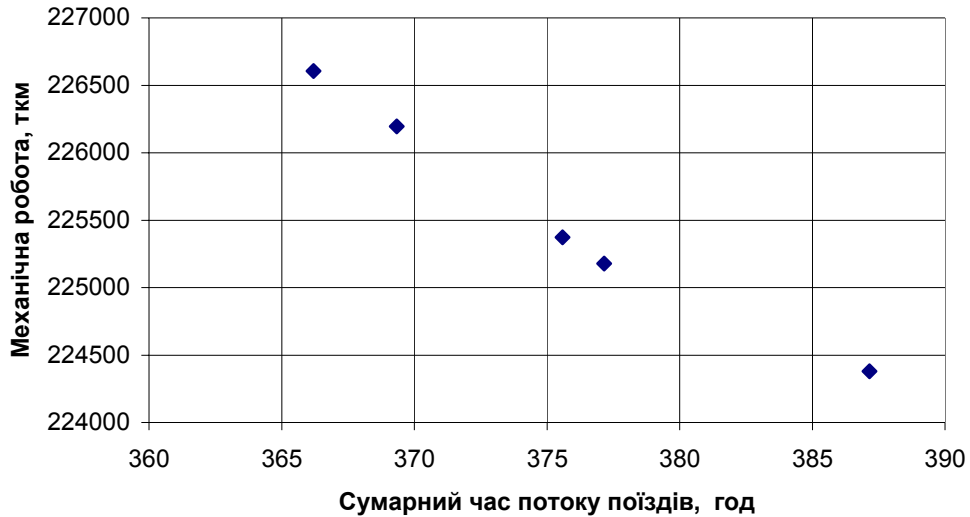


Рис. 5. Варіанти співвідношень механічної роботи і часу ходу для пасажирських поїздів туди при  $\Delta\varphi = 0,001$



Рис. 6. Варіанти співвідношень механічної роботи і часу ходу для вантажних поїздів назад при  $\Delta\varphi = 0,0002$

Значення з найменшою механічною роботою та часом руху і є найраціональнішим. Для даного значення  $\varphi$  на рис. 7 показано розподіл пасажирських поїздів, які прямують з Києва до Львова. Такі ж розрахунки були виконанні для вантажних поїздів.

### Висновки

Запропонована методика дозволяє обґрунтовано обрати найбільш придатний варіант розподілу потоку поїздів як за одним, так і за декількома показниками одночасно. Раціональний розподіл дає змогу зменшити витрати на пробіг поїздів, утримання колії та скоротити час руху.

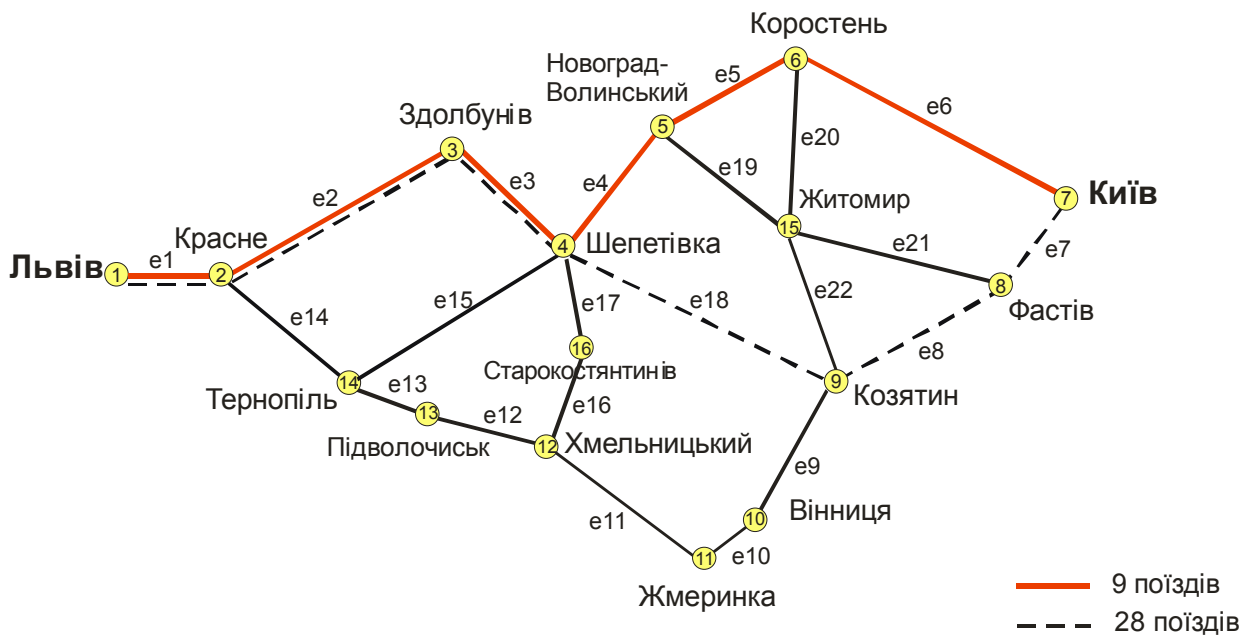


Рис. 7. Рациональний розподіл 37 пасажирських поїздів, що слідуєть зі Львова до Києва між паралельними ходами

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки [Текст]. – К., 2004. – 43 с.
2. Кірпа, Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему [Текст] : монографія. – 2-е вид., перероб. і доп. / Г. М. Кірпа. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.
3. Підсумки роботи транспортно-дорожнього комплексу та галузі зв'язку у 2007 році [Текст] / засідання колегії Міністерства транспорту та зв'язку 26.02.2008. – К., 2008.
4. Босов, А. А. Підвищення ефективності роботи транспортної системи на основі структурного аналізу [Текст] : монографія / А. А. Босов, Н. А. Мухіна, Б. П. Піх. – Д., 2005. – 199 с.
5. Службовий розклад руху пасажирських поїздів 2008-2009 рр. [Текст]. – К.: ТОВ «Інпрес», 2008. – 1009 с.
6. Наказ про встановлення найбільших швидкостей руху поїздів на дільницях, вітках і станціях Львівської залізниці №749/Н від 19.09.2007 р. [Текст].

Надійшла до редколегії 03.06.2010.  
Прийнята до друку 15.06.2010.