

---

УДК 656.222.3

*Г. Я. МОЗОЛЕВИЧ*, канд. техн. наук, доц., ДНУЗТ ім.академіка В.Лазаряна,  
Дніпропетровськ

**ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ  
ПЕРЕВЕЗЕНЬ ШЛЯХОМ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ВАНТАЖНИХ  
ПОЇЗДОПОТОКІВ**

В статті запропоновано за рахунок управління параметрами маси та довжини поїздів зменшити загальні витрати учасників логістичного ланцюгу вантажопотоків.

**Ключові слова:** залізничний напрямок, маса та довжина поїздів, конкурентоспроможність залізниць.

**Вступ.** Сучасні умови функціонування залізничного транспорту України характеризуються постійною зміною структури й обсягів вантажо- та поїздопотоків при наявності резервів пропускної спроможності більшості ділянок залізничних напрямків перевезень. В зв'язку з цим зростає важливість проблеми вибору раціональних параметрів маси та довжини поїздів з метою зменшення експлуатаційних витрат залізниці та витрат клієнтів як єдиної системи.

Залізничний транспорт одночасно працює в ринкових умовах конкуренції з іншими видами транспорту, і в той же час, згідно закону України про транспорт, його головним завданням є своєчасне, повне і якісне задоволення потреб населення та суспільного виробництва в перевезеннях. При цьому залізничний транспорт виступає монополістом в

масових перевезеннях видобувної, металургійної та хімічної промисловості. Його особливістю є значна частка витрат на утримання інфраструктури, що не залежить від обсягів роботи. Це визначає необхідність пошуку шляхів адаптації залізниць до наслідків коливань вантажопотоків та зміни їх структури.

Визначення раціональних параметрів поїздопотоків є складною оптимізаційною задачею, що не отримала остаточного вирішення і в даний час. У зв'язку з цим проблема підвищення конкурентоспроможності залізниць в області вантажних перевезень за рахунок управління параметрами поїздопотоків, є досить актуальною.

Норми маси та довжини поїздів являються найважливішим техніко-експлуатаційними показниками, від яких залежать наявна провізна і пропускна спроможність залізничних ліній, витрати електроенергії та палива, собівартість перевезень, швидкість доставки вантажів, потреба у вагонному і локомотивному парках.

В наукових роботах використовувалися різні методи рішення зазначеної задачі та різні критерії оптимальності [1-4]. Критеріями запропоновано використовувати прямі експлуатаційні витрати при наявному рівні технічного оснащення залізничних дільниць, приведені вагоно-години, тощо. Основним способом вибору параметрів вантажних поїздів є формування повносоставних або повновагових поїздів за умов існуючих технічних обмежень, що в першу чергу стосуються тягових властивостей поїзних локомотивів та довжиною приймально-відправних колій. В ринкових умовах при оптимізації параметрів поїздопотоків на напрямках використовувались й інші підходи щодо визначення критерію оптимізації, окрім власне витрат залізниці. Так, в деяких роботах наводиться обґрунтування зменшення маси та довжини поїздів для прискорення пропуску контейнерних або контрейлерних поїздів, чи окремих вантажних відправок за додаткову плату. Недоліками цих методів є використання не досконалих моделей та методів, що враховують не всі елементи транспортного процесу.

**Математична постановка задачі.** Задача визначення раціональних параметрів вантажних поїздопотоків на залізничних напрямках розглядається як задача векторної оптимізації із двома невідомими – масою  $Q$  (т) та довжиною поїздів  $m$  (ваг). Критерієм оптимізації по Парето виступають витрати учасників логістичного ланцюгу вантажопотоків:

$$\begin{cases} E_3(m, Q) \rightarrow \min \\ E_{кл}(m, Q) \rightarrow \min, \end{cases} \quad (1)$$

де  $E_3$  - витрати залізниці на переміщення поїздопотоків на напрямку;

$E_{кл}$  - витрати клієнтів, пов'язані із параметрами поїздопотоків.

Витрати залізниці на пропуск поїздопотоків складаються із наступних складових:

$$E_3 = E_{проб} + E_{лок} + E_{лок-бр} + E_{ст}, \quad (2)$$

де  $E_{проб}$  - витрати на пробіг поїздів заданої маси та довжини, що припадають на витрати електроенергії чи дизельного палива;

$E_{лок}$  - витрати, що припадають на локомотиво-години роботи для пропуску заданого вагонопотоку;

$E_{лок-бр}$  - витрати на утримання локомотивних бригад;

$E_{ст}$  - витрати станцій, пов'язані із формуванням та переробкою поїздопотоків.

Витрати клієнтів складаються із витрат на закупівлю вантажів, що постійно знаходяться в процесі транспортування  $E_{вант}$  та витрат на зберігання вантажів на складах відправників та одержувачів  $E_{зб}$ .

Всі вищезазначені витрати розглядаються як функції двох параметрів  $m$  та  $Q$  при постійних значеннях інших параметрів, таких як добовий вагонопотік по напрямку  $A$

ваг/добу, наявна пропускна спроможність  $N_n$ , максимальна довжина приймально-відправних колій  $l_{\text{кол}}$ , максимальна маса поїздів на дільницях напрямку при існуючих поїзних локомотивах  $Q_{\text{мах}}$ , т, добовий вантажопотік на напрямку  $P_{\text{вант}}$  т/добу, доля порожнього вагонопотоку в переважно порожньому напрямку  $\alpha_{\text{пор}}$ , обсяги пасажирського руху при літньому та не літньому графіку руху поїздів  $N_{\text{пас}}$ , поїздів/добу, середня тара вагонів,  $q_T$ , т, середня вантажопідйомність вагонів,  $q_{\text{ваг}}$ , т/ваг, локомотивний парк  $W_{\text{л}}$ .

Витрати клієнтів на закупівлю вантажів розраховуються за формулою:

$$E_{\text{вант}} = A \alpha_{\text{нав}} q c_m d_{\text{см}} t_{\text{досм}} \left[ 1 + \frac{t_{\text{напр}}^*(m^*; Q^*)}{t_{\text{напр}}(m_{\text{см}}; Q_{\text{см}})} \right], \quad (3)$$

де  $A$  – добовий вагонопотік в одному напрямку, складає ;

$\alpha_{\text{нав}}$  – доля навантажених вагонів від загального вагонопотоку;

$q$  – середнє навантаження вагону на напрямку;

$c_m$  – середньозважена вартість однієї тонни вантажу;

$d_{\text{см}}$  – дисконтна ставка, коливається в межах 7,5-10% в останні роки;

$t_{\text{досм}}$  – середня тривалість знаходження вантажу в русі від станції завантаження до станції призначення;

$t_{\text{іаіа}}^*(m^*; Q^*)$  – тривалість знаходження вантажу на напрямку при змінених параметрах поїздопотоків  $m^*$  та  $Q^*$ ;

$t_{\text{іаіа}}(m_{\text{іаіа}}; Q_{\text{іаіа}})$  – тривалість знаходження вантажу на напрямку при існуючих стандартах параметрів поїздопотоків.

Витрати на зберігання вантажу змінюються пропорційно величинам партій доставок  $m$  (рис. 1), що відповідає кількості вагонів у складах поїздів. Розрахувати ці витрати для окремого складу можна за формулою:

$$E_{\text{зб}} = 0,5 m c_s T \quad (4)$$

де  $c_s$  – середні витрати на зберігання вантажу, грн/год;

$T$  – середня тривалість споживання однієї партії вантажу, год. Очевидно, що цей параметр пропорційний величині партії  $m$ .

Система обмежень параметрів функції [5] складається з обмеження по наявній пропускній спроможності дільниць напрямку (1), по відповідності добового обсягу вагонопотоку добовому поїздопотоку (2), по довжині приймально-відправних колій (3), по силі тяги поїзних локомотивів (4), по обсягам перевезених вантажів (5), по вантажопідйомності вагонів (6), по локомотивному парку (7).

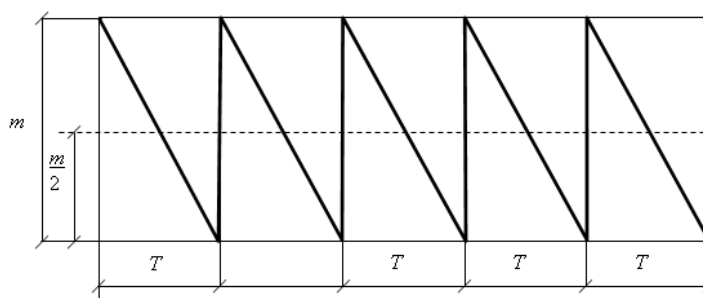


Рис. 1 - Зміна обсягів вантажів, що зберігаються на складах

### Методика і результати досліджень

Для дослідження параметрів поїздопотоків обрано вантажонапружений залізничний напрямок Ясинувата – Нижньодніпровськ-Вузол, що розташований у межах Донецької та Придніпровської залізниць. Загальна довжина напрямку складає 256 км. Через несприятливий профіль в парному напрямку виконується підштовхування поїздів на дільницях. Керівний уклон в парному напрямку складає 9,8 ‰, в непарному – 9‰.

На рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** побудована область допустимих значень параметрів поїздопотоків. Обмеження (1') та (1'') відповідають не літнім та літнім розмірам руху пасажирських поїздів на напрямку.

Конус, утворений обмеженнями (5-6), пояснюється співвідношенням випадкових параметрів  $m$  та  $Q$ . Величина кута при вершині пропорційна долі порожнього вагонопотоку на напрямку. Обмеження (7) паралельне обмеженням (1) та коливається в межах між (1') та (1'') в оперативних умовах через перерозподіл локомотивного парку з суміжних напрямків.

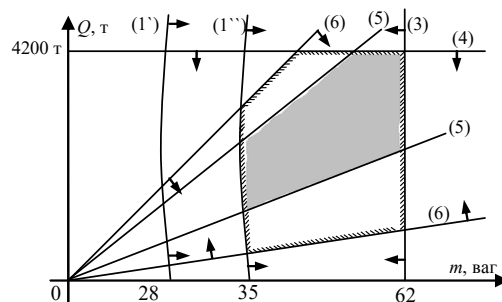


Рис. 2 - Область допустимих значень параметрів поїздопотоків

Для визначення витрат клієнтів  $E_{вант}$  та  $E_{зб}$  виконано статистичний збір інформації про структуру, обсяги та вартість вантажопотоків, що перевозились на вантажонапруженому напрямку Ясинувата – Нижньодніпровськ-Вузол.

На рис. 3 наведено розподіл вантажопотоків по роду вантажів в парному та непарному напрямі перевезень. Переважну частину вантажів складають масові перевезення видобувної, металургійної, будівельної та аграрної промисловості.

Середньозважена вартість однієї тонни вантажу визначена за формулою:

$$C_{\sigma} = \sum_{j=1}^k \alpha_j c_{вантj}, \quad (5)$$

де  $j$  – род вантажів;

$\alpha_j$  - доля вантажів  $j$ -го роду від загального обсягу вантажопотоку;

$c_{вантj}$  - середня вартість  $j$ -го вантажу протягом року.

Дослідження впливу параметрів поїздопотоків на витрати залізниці для вантажонапруженого напрямку проведено з використанням моделі роботи залізничного напрямку [6]. В моделі він розглядається як багатоканальна багатозадачна система масового обслуговування СМО. Закони розподілення випадкових величин параметрів поїздопотоків напрямку детально представлені в [7].

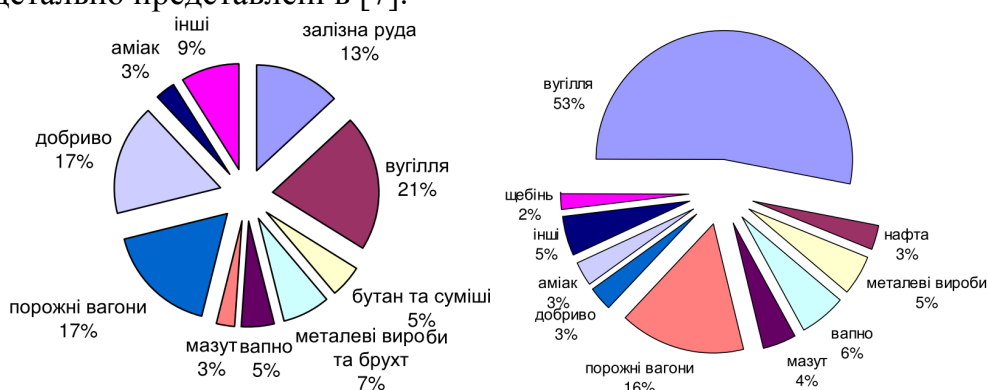


Рис. 3 - Діаграма структури вантажопотоків на напрямку Ясинувата – Нижньодніпровськ-Вузол

Виконані розрахунки показали, що параметри поїздопотоків, що задовольняють умову (1) значно залежать від собівартості вантажів, які перевозяться на напрямку. Загальні витрати учасників процесу перевезень досягають мінімального значення при зменшенні довжини поїздів до 45-52 вагонів у складі в залежності від співвідношення витрат на перевезення та вартості перевезених вантажів.

Розв'язок задачі векторної оптимізації полягає у пошуку усіх пар параметрів поїздопотоків, які задовольняють умові (1) при будь-якому співвідношенні витрат між собою  $t = \frac{C_{з}}{C_{кл}}$ . При двох невідомих значеннях  $m$  та  $Q$ , вони повинні задовольняти наступну систему диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial E_s(m, Q)}{\partial m} + t \frac{\partial E_{кл}(m, Q)}{\partial m} = 0, \\ \frac{\partial E_s(m, Q)}{\partial Q} + t \frac{\partial E_{кл}(m, Q)}{\partial Q} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язок цієї системи рівнянь для функцій витрат вантажонапруженого напрямку залізничних перевезень отримано з використанням програмного засобу *Maple 7*.

Так, при  $t \in \{1,5; 4,5\}$  значення оптимальних параметрів поїздопотоків знаходяться на границі ОДЗ, при  $\forall t \in \{1,5; 4,5\}$  рішення буде мати вигляд деякої кривої (рис. 4) при сталому значенні параметру  $t$ . Необхідно зазначити, що рішення представляє собою можливі пари стандартних параметрів поїздопотоків, що задавалися б в тих чи інших випадках на напрямку, а справжні експлуатаційні значення  $\tilde{m}$  та  $\tilde{Q}$  незначно коливаються в будь-якій точці отриманої функції  $Q = f(m) \forall t \in \{1,5; 4,5\}$ .

Співвідношення витрат залізниці та її клієнтів при різних значеннях параметру  $t$  представлені на рис. 5. Обмеження співвідношення витрат учасників логістичного ланцюгу вантажопотоків викликано обмеженнями, що накладаються на параметри поїздопотоків (1-7).

**Висновки.** Виконаний аналіз наукових робіт присвячених вибору раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках показав відсутність комплексного підходу до розв'язання задачі вибору маси та довжини поїздів. В існуючих наукових роботах вплив параметрів поїздопотоків розглядається в аспектах експлуатаційної роботи станцій та дільниць, а клієнти залізниці при цьому знаходяться поза межами системи перевезень і не можуть вплинути на строки доставки вантажів, окрім збільшення партій відправок. Для розв'язання вказаної задачі побудовані математичні моделі технологічних процесів роботи залізничних станцій та напрямків і розроблено методику техніко-експлуатаційної та техніко-економічної оцінки вибору параметрів поїздопотоків.

При зменшенні обсягів перевезень на залізниці виникає проблема прискорення руху поїздопотоків в зв'язку із збільшенням тривалості простою вагонів на технічних станціях під накопиченням. В цей період часу відбувається зменшення вартості вантажної маси, що транспортується, і тому її перевезення може бути виконано в більш довші строки із максимально можливим збільшенням довжини та маси поїздів та відповідним зменшенням як експлуатаційних витрат залізниці, так і тарифів на перевезення.

При збільшенні обсягів перевезення відбувається поступове збільшення вартості вантажів, тому в цей час раціональним стає зменшення маси та довжини поїздів, що призведе до прискорення просування поїздопотоків по напрямках з організацією руху неповносоставних поїздів довжиною 45-52 вагонів в залежності від роду вантажопотоків на напрямку та їх обсягу. Значний вплив на вибір параметрів поїздопотоків будуть вже мати обмеження за наявною кількістю локомотивів, завантаженість дільниць та елементів станцій.

Збільшення експлуатаційних витрат на пропуск поїздопотоків при цьому можна покласти на клієнтів, відповідно збільшивши тарифні ставки. Для напрямку Ясинувата – Нижньодніпровськ-Вузол, збільшивши власні витрати на 40 тис. грн/добу, витрати клієнтів

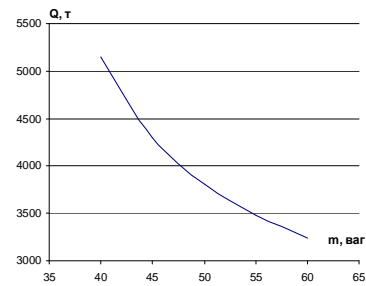


Рис. 4 - Рішення задачі оптимізації при  $t = const$

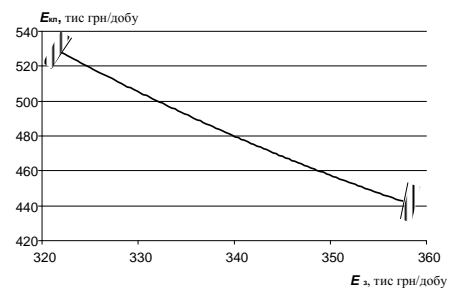


Рис. 5 - Рішення задачі оптимізації при  $t \in \{1,5; 4,5\}$ .

скорочуються на 80 тис. грн. Отже, частково розподіливши скорочення загальних витрат системи між її учасниками, можна отримати синергетичний ефект в розмірі 40 тис. грн/добу. Такий підхід до управління параметрами поїздопотоків підвищить конкурентоспроможність залізниць на транспортному ринку вантажних перевезень.

**Список літератури:** 1. Тихонов К. К. Теоретические основы выбора оптимальных весовых норм грузовых поездов. - М.: Транспорт, 1970. - 200 с. 2. Кочнев Ф. П., Сотников И. Б. Управление эксплуатационной работой железнодорожных дорог: Учеб. Пособие для вузов. - М.: Транспорт, 1990. - 424 с. 3. Савенко А. С., Музика Г. И. Оптимизация массы грузовых поездов на участках // Транспорт: Сб. науч. Тр. - Вып. 8 - Днепропетровск: ДИИТ. - 2001. с.93-97. 4. Крапивный, В. А. Вес поезда. Ориентиры, проблемы, опыт. На основе развития инфраструктуры магистрали / В. А. Крапивный, В. А. Анисимов // Железнодорожный транспорт. - 2005. - № 3. - С. 30-36. 5. Козаченко Д. М. Визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, О. О. Мазуренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, - 2011. - № 2/3 (50). - С. 40-45. 6. Козаченко Д. М. Моделювання роботи залізничного напрямку / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, О. В. Власюк // Вісник ДНУЗТ, Вип. 28, Д.: ДІТ, 2009, - с. 143-148. 7. Козаченко Д. М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, № 3/5 (45), 2010, с. 17-21.

*Надійшла до редколегії 20.03.2013*

---

УДК 656.222.3

**Підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень шляхом управління параметрами вантажних поїздопотоків/ Мозолевич Г. Я. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. - Х: НТУ «ХП», - 2013. - № 1 (977). - С. 37-42. - Бібліогр.: 7назв.**

В статті пропонується за рахунок управління параметрами ваги та довжини поїздів зменшити загальні витрати учасників логістичної ланки вантажних потоків.

**Ключевые слова:** залізничне напрямлення, вага та довжина поїздів, конкурентоспроможність залізничних дорог.

There was suggested the possible way of reduction of the total cost of the participants of the logistical chain by means of the controlling the parameters of the mass and length of the trains.

**Keywords:** railway direction, mass and length of the trains, competitiveness of the railways.