

## Література

1. Касьянов В.О. Суб'єктивний аналіз: Монографія. – К.: НАУ, 2007. – 512 с. – Рос. мовою.
2. Касьянов В. А. Элементы субъективного анализа: Монография. – К.: НАУ, 2003. – 224 с.
3. Круглов В.В., Борисов В.В. Теория искусственных нейронных сетей. Основные положения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.socioego.ru/teoriya/istoch/neuron/sod.html> - Назва з екрану.
4. Сотник С. Л. Конспект лекций по курсу «основы проектирования систем искусственного интеллекта» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://lii.newmail.ru/lect\\_p1.htm](http://lii.newmail.ru/lect_p1.htm) - Назва з екрану.
5. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника, М.: Мир, 1992 – 453 с.
6. Корнеев Д.С. Использование аппарата нейронных сетей для создания модели оценки и управления рисками предприятия // Управление большими системами. Вып. 17. – М.: ИПУ РАН, 2007. С.81-102.
7. Горбань А.Н. Итоги науки и техники: физические и математические модели нейронных сетей, том 1, М.: Виннити, 1990.
8. Козер Л. Функции социального конфликта. – М.: Идея Пресс, 2000. – 205 с.
9. Гришина Н.В. Психология конфликта, 2-е вид., Спб. та ін.: Пітер, 2009. – 544 с. – Рос. мовою.
10. Саати Т. Л. Математические модели конфликтных ситуаций. – М.: Сов. Радио, 1977. – 320 с.

УДК 656.222.3

## ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ

**Д.М. Козаченко**

Кандидат технічних наук, доцент  
Начальник науково-дослідної частини\*\*  
Контактний тел.: (0562) 794-35-98  
E-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua

**Г.Я. Мозолевич**

Старший викладач\*  
Контактний тел.: (056) 373-15-20  
E-mail: MrMozG81@mail.ru

**О.О. Мазуренко**

Асистент\*  
\*Кафедра «Станції та вузли»\*\*  
Контактний тел.: (056) 373-15-20  
E-mail: sash\_ok\_ua@mail.ru

\*\*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна  
вул. Ак. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

*Наведено методику визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках з метою мінімізації витрат залізниць та її клієнтів*

*Ключові слова: залізничний напрямок, маса та довжина поїздів*

*Приведена методика определения рациональных параметров поездопотоков на железнодорожных направлениях с целью минимизации затрат железных дорог и их клиентов*

*Ключевые слова: железнодорожное направление, вес и длина поездов*

*There was given the methodology of the rational train parameters definition on the railway directions for the purpose of loss minimization for both railways and clients.*

*Key words: railway direction, weight and length of trains*

**Вступ**

Проведений аналітичний огляд літератури показав, що визначення раціональних параметрів поїздо-

потоків є складною оптимізаційною задачею. З масою та довжиною поїздів пов'язані наявна провізна і пропускна спроможність залізничних ліній, швидкість доставки вантажів, потреба у вагонному і локомо-

тивному парках, і як результат, витрати залізниці на переміщення вагонопотоків. Існуюча технологія перевезення вантажопотоків на українських залізницях передбачає близько 50 % часу обігу вантажних вагонів у стані переміщення між станціями призначення та відправлення і 50 % у стані навантаження-розвантаження та порожнього пробігу. Зміна параметрів поїздопотоків може вплинути на першу частину часових витрат, тобто частково прискорити або сповільнити пропуск вантажопотоків і відповідно вплинути на обіг вантажних вагонів.

Значний внесок у вирішення теоретичних та практичних проблем визначення раціональних параметрів поїздопотоків зробили такі вчені як В.М. Акулінічев, П.В. Бех, Т.В. Бутько, Є.Є. Гібшман, П.С. Грунтов, Ф.П. Кочнев, Д.Ю. Левін, І.Ю. Левицький, Ю.О. Муха, Є.В. Нагорний, В.М. Образцов, Б.Е. Пейсахзон, Г.І. Переста, А.С. Савенко, Є.О. Сотніков, І.Є. Сотніков, К.К. Тихонов, Н.Б. Чернецька-Білецька, Є.М. Шафіт, М.Р. Ющенко, П.О. Яновський та інші.

В наукових роботах використовувалися різні методи рішення зазначеної задачі та різні критерії оптимальності. Як показав аналіз, такими критеріями можуть виступати прямі експлуатаційні витрати при заданому рівні технічного використання локомотивів, критерій, виражений в приведених вагоно-годинах, що враховує витрати локомотиво-годин та енергії через коефіцієнти приведення, формування переважно повноставних та повновагових поїздів, тощо. При оптимізації параметрів поїздопотоків на напрямках використовувались й інші підходи щодо визначення критерію оптимізації, окрім власне витрат залізниці. В умовах конкуренції залізниці з іншими видами транспорту, в роботах [1-2] 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 відсутність системного аналізу проблеми з точки зору інтересів обох учасників процесу перевезень.

**Математична постановка задачі**

Задача визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках розглядається як оптимізаційна задача із двома невідомими – масою  $Q$  (т) та довжиною поїздів  $m$  (ваг). Критеріями оптимізації виступають витрати учасників логістичного ланцюгу вантажопотоків:

$$\left[ \begin{array}{l} C_3 = E_3(m, Q) \rightarrow \min \\ C_{кл} = E_{вант}(m, Q) + E_{зб}(m, Q) \rightarrow \min, \end{array} \right] \quad (1)$$

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

$E_{вант}$  - витрати вантажовласників на закупівлю вантажів, що постійно знаходяться в русі під час перевезень;

$E_{зб}$  - витрати на зберігання вантажів на складах відправників та одержувачів.

Всі вищезазначені витрати розглядаються як функції двох параметрів  $m$  та  $Q$  при постійних значеннях інших параметрів, таких як добовий ваго-

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

Витрати Укрзалізниці на пропуск поїздопотоків складаються із наступних складових:

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

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.

Витрати клієнтів на закупівлю вантажів розраховуються за формулою:

$$C_v = A \alpha_{нав} q_c d_{ст} t_{дост} \left( 1 + \frac{t_{напр}^*}{t_{напр}} \right) \quad . \quad (3)$$

Тут  $A$  – добовий вагонопотік в одному напрямку;  
 $\alpha_{нав}$  - доля навантажених вагонів від загального вагонопотоку;

$q$  - середнє навантаження вагону на напрямку;  
 $c_t$  - середньозважена вартість однієї тонни вантажу;

$d_{ст}$  - дисконтна ставка;  
 $t_{дост}$  - середня тривалість знаходження вантажу в русі від станції завантаження до станції призначення;

$t_{напр}^*$  - тривалість знаходження вантажу на напрямку при змінених параметрах поїздопотоків;

$t_{напр}$  - тривалість знаходження вантажу на напрямку при існуючих параметрах поїздопотоків.

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

$$E_{зб} = 0,5m c_s T \quad (4)$$

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 складається з наступних рівнянь та нерівностей.

Обмеження по наявній пропускній спроможності дільниць напрямку:

$$N_n \geq N_{вантj} + N_{пасj} \cdot \epsilon_{пас} + N_{збj} (\epsilon_{зб} - 1) \quad (5)$$

де  $N_{вантj}$ ,  $N_{пасj}$ ,  $N_{збj}$  - кількість вантажних, пасажирських та збірних поїздів на  $j$ -му напрямку;

$\epsilon_{пас}, \epsilon_{зб}$  - коефіцієнти зняття вантажних поїздів пасажирськими та збірними відповідно.

Коефіцієнти зйому, в свою чергу, також залежать від параметрів поїздопотоків. Відповідно до [3] для двоколіїних дільниць з пасажирським рухом до 60 пар поїздів на добу

$$\epsilon_{пас} = \frac{t_{ван}(1-\Delta)(0,8-0,005n_{пс})}{I} + 1,3 \quad (6)$$

та при більш значних розмірах руху пасажирських поїздів

$$\epsilon_{пас} = \frac{t_{ван}(1-\Delta)(0,8-0,005n_{пс})}{I} + \frac{1,5}{n_{пс}} + 1 \quad (7)$$

де  $t_{ван}$  - тривалість руху вантажного поїзду через обмежуючий перегін, хв.;

$\Delta$  - співвідношення чистого часу руху пасажирських та вантажних поїздів на розрахунковій дільниці;

$n_{пс}$  - загальна кількість пасажирських поїздів на дільниці;

$I$  - розрахунковий міжпоїзний інтервал на дільниці, хв.

Параметр  $I$  залежить від [4] тривалості руху поїздів по розрахунковим блок-ділянкам  $t_{блi}, i = \{1..4\}$ , їх довжини  $l_{бл1}$  та довжини  $l_{п1}$  та  $l_{п2}$  суміжних поїздів, що рухаються по перегону:

$$I = t_{бл1} \frac{l_{п1}}{l_{бл1}} + t_{бл2} + t_{бл3} + t_{бл4} \frac{l_{п2}}{l_{бл4}} \quad (8)$$

Для аналізу форми ОДР проведено факторний експеримент.

При цьому для визначення  $t_{блi} = f(Q, m)$  використовувались тягові розрахунки на одній з дільниць напрямку перевезень.

Наступним обмеженням виступає відповідність добового обсягу вагонопотоків добовому поїздопотоку

$$A = mN_{вант} \quad (9)$$

Обмеження по довжині приймально-відправних колій

$$l_{лок} + m \cdot l_{ваг} + a \leq l_{кол} \quad (10)$$

де  $l_{лок}$  - довжина поїзного локомотиву на напрямку, м;

$l_{ваг}$  - середня довжина вагону, м;

$a$  - допуск на неточність зупинки поїзда, м.

Обмеження по силі тяги поїзних локомотивів

$$Q_{бр} = \frac{F_{кр} - P(\omega_0 + i_p)}{\omega_0 + i_p} \geq Q \quad (11)$$

$F_{кр}$  - розрахункова сила тяги локомотива, кгс;

$\omega_0$  - основний питомий опір руху локомотива, кгс/тс;

$i_p$  - керівний ухил, ‰;

$P$  - розрахункова маса локомотива, тс;

$\omega_0$  - основний питомий опір руху вантажних вагонів, кгс/тс.

Обмеження по обсягам перевезених вантажів

$$(1 - \alpha_{нор})N_{вантj}(Q - mq_T) = P_{вантj} \quad (12)$$

Обмеження по вантажопідйомності вагонів

$$0 \leq \frac{Q}{m} - q_T \leq q_{ваг} \quad (13)$$

Обмеження по локомотивному парку

$$\frac{N_{вант} O_l}{24} \leq W_l \quad (14)$$

де  $O_l$  - оборот локомотиву.

### Методика і результати досліджень

Визначення раціональних параметрів поїздопотоків проведено на основі кримського пасажиронапруженого напрямку залізничних перевезень з урахуванням різного стану його завантаження в літній та нелітній період.

На рис. 1 побудована область допустимих значень параметрів поїздопотоків.

Обмеження (5') та (5'') відповідають не літнім та літнім розмірам руху пасажирських поїздів на напрямку. Конус, утворений обмеженням (12), пояснюється співвідношенням випадкових параметрів  $m$  та  $Q$ .

Величина кута при вершині пропорційна долі порожнього вагонопотоку на напрямку. Обмеження (14) паралельне обмеженням (5) та коливається в межах між (5') та (5''), оскільки локомотивний парк напрямку може використовуватись на суміжних напрямках, бути доповнений локомотивами інших депо. І, як показали дослідження, оборот локомотиву не може бути прийнятий постійною величиною, оскільки він залежить від параметрів та обсягів поїздопотоків.

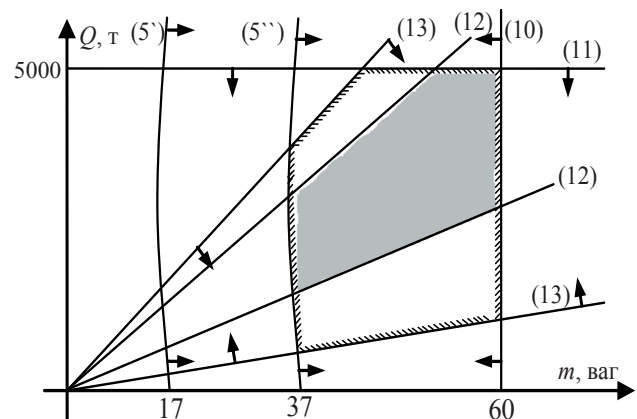


Рис. 1. Область допустимих значень параметрів поїздопотоків

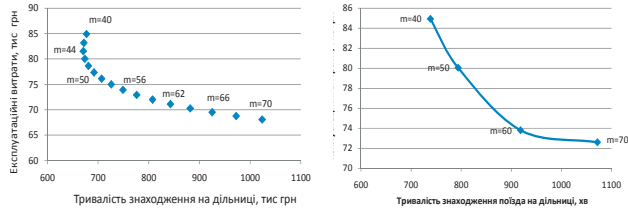
Дослідження впливу параметрів поїздопотоків на витрати залізниці для Кримського пасажирона-

пруженого напрямку проведено з використанням моделі роботи залізничного напрямку [5]. В моделі він розглядається як багатоканальна багатозафазна система масового обслуговування СМО. Вхідний потік СМО утворюють парні та непарні поїзди, що вимагають пропуску по дільницям напрямку, закони розподілу та параметри якого представлені в [6].

Фазами обслуговування поїздів є залізничні перегони та станції, що здійснюють технологічні процеси відповідно до прийнятої технології роботи дирекції залізничних перевезень та технологічних процесів роботи станцій напрямку.

Тривалості обслуговування моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик заявок на обслуговування та об'єктів обслуговування.

Результати досліджень показали, що із збільшенням довжини та маси поїздів на напрямку, витрати залізниці зменшуються (рис. 2) і одночасно з ними збільшується тривалість знаходження вагонопотоків на напрямку.



а) нелінійні розміри руху пасажирських поїздів, б) лінійні розміри руху пасажирських поїздів

Рис. 2. Залежність експлуатаційних витрат від тривалості знаходження поїздів на напрямку

Для визначення витрат  $E_{вант}$  та  $E_{зб}$  виконано статистичний збір інформації про структуру, обсяги та вартість вантажопотоків, що перевозились Укрзалізницею за останні роки [7]. На рис. 3 наведено розподіл вантажопотоків по роду вантажів. Переважну частину вантажів складають масові перевезення видобувної, металургійної, будівельної та аграрної промисловості.

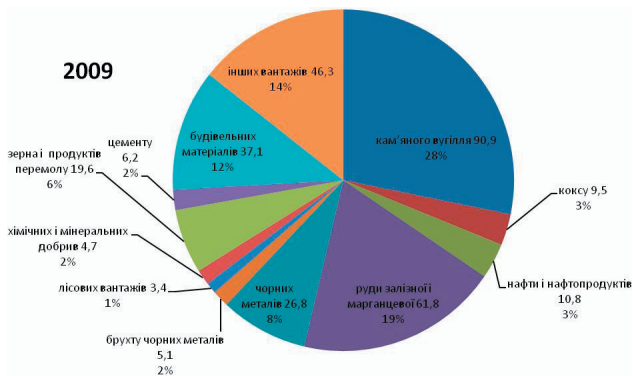


Рис. 3. Структура вантажопотоків Укрзалізниці у 2009 році

На рис. 4 показані діаграми зміни структури вантажопотоків у 2002, 2005 та 2010 р., які засвідчують, що в останнє десятиріччя відбувається зміна кон'юнктури ринку вантажних перевезень.

Одночасно з цим змінювався попит та пропозиція на окремі товари, що перевозилися залізницями України, деякі групи вантажів стали транспортуватись іншими видами транспорту або перевозитись шляхами в обхід території України.

Все це вплинуло на собівартість самих вантажів. Середньозважена вартість однієї тонни вантажу визначена за формулою:

$$C_v = \sum_{j=1}^k \alpha_j c_{вантj}, \quad (15)$$

де  $j$  – род вантажів;  
 $\alpha_j$  - доля вантажів  $j$ -го роду від загального обсягу вантажопотуку;  
 $c_{вантj}$  - середня вартість  $j$ -го вантажу протягом року.

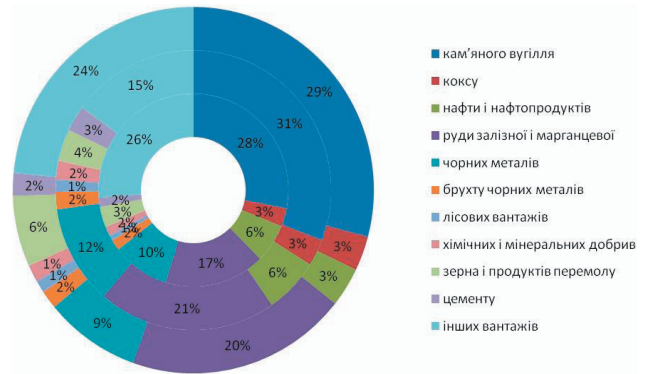


Рис. 4. Діаграма зміни структури вантажопотоків залізниць України за 2002, 2005 та 2010 р.

Аналіз зміни вартості масових вантажів, що перевозилися залізницями з 2002 по 2010 р., показав значні коливання, що пояснюються зміною попиту та обсягів споживання тих чи інших вантажів на ринку України. Між середньозваженою вартістю та обсягами перевезень було встановлено тісний кореляційний зв'язок  $R_{c_v, \sum Q} = 0,77$ .

Для визначення параметрів поїздопотоків, що задовольняють умову (1), була побудована поверхня  $E = f(m; c_v)$  (рис. 5,а). Для наочності виконані розтини поверхні площинами при деяких постійних значеннях параметру  $c_v$  (рис. 5,б), з яких видно, що загальні витрати учасників процесу перевезень досягають мінімального значення при зменшенні довжини поїздів до 48-54 вагонів у складі в залежності від співвідношення витрат на перевезення та вартості перевезених вантажів.

В подальшому задачу визначення раціональних параметрів поїздопотоків вирішено як задачу векторної оптимізації. Розв'язок такої задачі полягає у пошуку усіх пар параметрів поїздопотоків, які задовольняють умову (1) при будь якому співвідношенні витрат між собою  $t = \frac{C_z}{C_{кл}}$ . Функції витрат залізниці та її клієнтів представлені на рис. 6.

При двох невідомих значеннях  $m$  та  $Q$ , вони повинні задовольняти наступну систему рівнянь



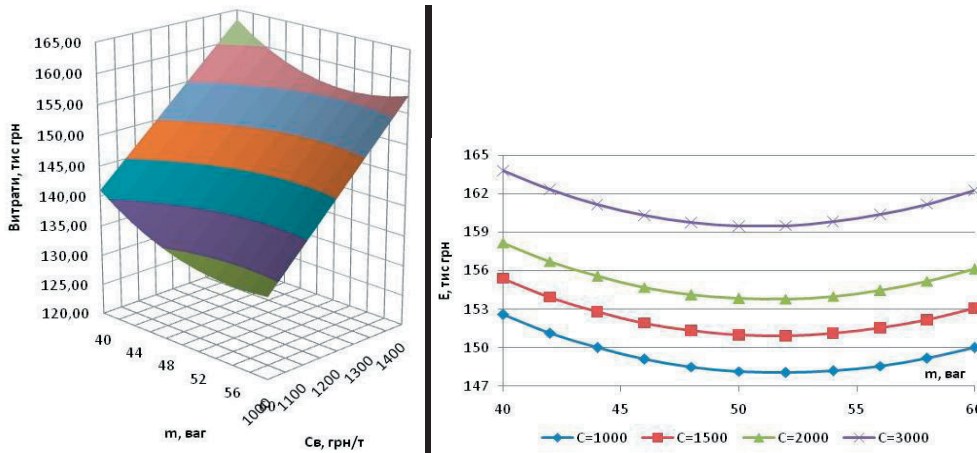


Рис. 5. Поверхня  $E = f(m; c_b)$  (а) та її розтини (б)

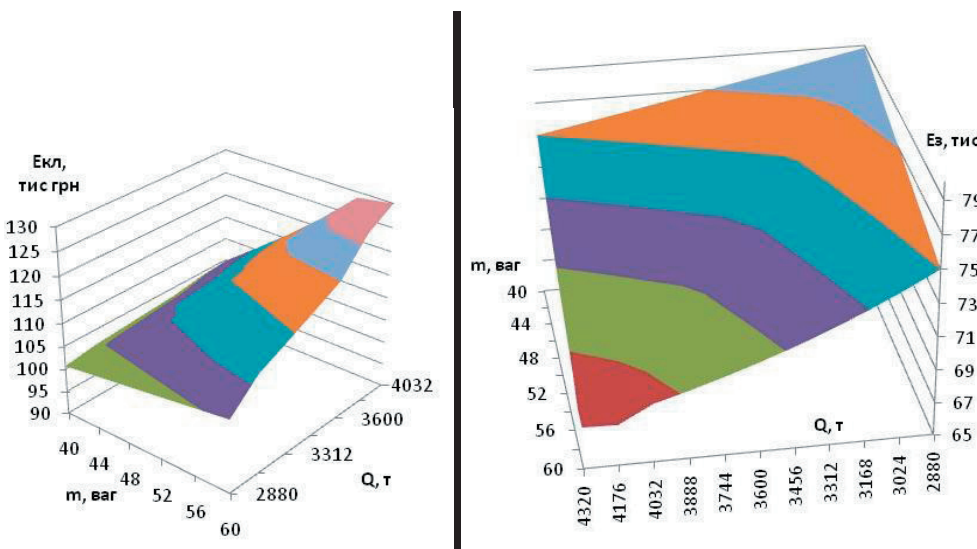


Рис. 6. Поверхні  $E_{кл} = f(m; Q)$  та  $E_z = f(m; Q)$

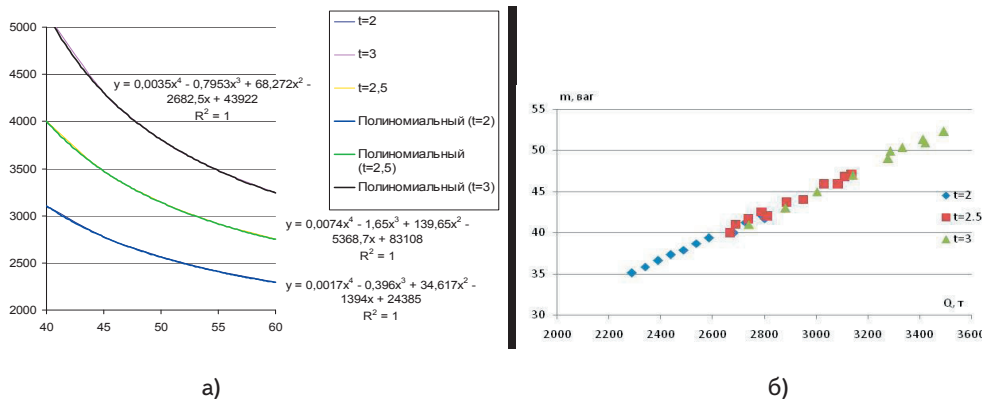


Рис. 7. Розв'язок задачі векторної оптимізації

$$\begin{cases} \frac{\partial C_z(m, Q)}{\partial m} + t \frac{\partial C_{кл}(m, Q)}{\partial m} = 0, \\ \frac{\partial C_z(m, Q)}{\partial Q} + t \frac{\partial C_{кл}(m, Q)}{\partial Q} = 0, \end{cases} \quad (16)$$

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

Так, при  $t \in \{1,58; 4,42\}$  значення оптимальних параметрів поїздопотоків знаходяться на границі ОДЗ, при  $\forall t \in \{1,58; 4,42\}$  рішення буде мати вигляд деякої кривої (рис. 7,а). Необхідно зазначити, що пошук виконувався відносно стандартних параметрів поїздопотоків, що задавалися б в тих чи інших випадках на напрямку, а справжні експлуатаційні значення  $\tilde{m}$  та  $\tilde{Q}$  незначно коливалися один від одного в будь-якій точці отриманої функції  $Q = f(m) \forall t \in \{1,58; 4,42\}$  (рис 7,б).

### Висновки

Виконаний аналіз наукових робіт по проблемі вибору раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках показав, що в сучасних умовах відсутній комплексний підхід 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 ніяким чином 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 для запобігання виплати штрафів за несвоєчасну доставку вантажів клієнтам. Насправді ж, в цей період часу відбувається зменшення вартості вантажної маси, що знаходиться в русі, 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 42-50 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 кримського напрямку, збільшивши власні витрати на 4000 грн/добу, витрати клієнтів на утримання вантажної маси в русі скорочуються на 15000 грн.

Отже, частково розподіливши скорочення загальних витрат системи між її учасниками, можна отримати економічний ефект в розмірі 4 млн грн./рік лише на напрямку довжиною 200-250 км, які частково направити на реновації локомотивного парку для усунення обмеження по парку локомотивів.

---

#### Література

1. Савенко, А.С. Оптимизация массы грузовых поездов на участках [Текст] / А.С. Савенко, Г.И. Музыкина // Транспорт: Сб.науч. тр. – Выпуск 8 – Днепропетровск: ДИИТ. – 2001 – с. 93-97.
2. Левицкий, И.Е. Сроки доставки грузов, план формирования поездов и материальная ответственность [Текст] / И.Е. Левицкий, // Транспорт: Сб. науч. пр. №12 – Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. – 2002. – с.102-105.
3. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України [Текст]. – Київ, Транспорт України, 2002.
4. Інструкція з визначення станційних і між поїзних інтервалів [Текст]. – Київ, Транспорт України, 2001.
5. Козаченко, Д.М. Моделювання роботи залізничного напрямку. [Текст] / Д.М. Козаченко, Г.Я. Мозолевич, О.В. Власюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна – Випуск № 28. Дніпропетровськ, 2009.
6. Козаченко, Д.М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках. [Текст] / Д.М.Козаченко, Г.Я. Мозолевич, // Східно-Європейський журнал передових технологій – Випуск № 3/5 (45), 2010, с.17-21.
7. Державний комітет статистики [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ukrstat.gov.ua/>