УДК 656.212:656.225
DOI: 10.34029/2311-4061-2019-133-4-04-12

Д-р техн. наук
Ломотько Д. В.

Канд. екон. наук
Балака Є. І.

Канд. техн. наук
Резуненко М. Є.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ВАГОНІВ У МАРШРУТНИХ ПОЇЗДАХ

Ключові слова: *залізниця, вантажні перевезення, маршрутний потяг, кількість вагонів, залізнична інфраструктура.*

Вступ

В теперішній час найбільш пекучою та невідкладною проблемою в роботі національної залізниці є вкрай незадовільний фінансово-економічний стан галузі. Ступінь зносу основних виробничих фондів, перш за все – рухомого складу, яка досягає біля 90%, а також моральна застарілість багатьох елементів інфраструктури ставить залізницю на межу банкротства. Це унеможливлює її інноваційний розвиток у відповідності з вимогами науково-технічному прогресу, Директивами ЄС і досягненнями економічно розвинутих країн в області транспорту.

Багатовіковий світовий досвід свідчить, що найбільш дієвими засобами вирішення означеної проблеми суб'єктами господарювання є: дотримання ринкового механізму ціноутворення за принципом відповідності попиту та пропозиції; зниження поточних виробничих витрат при умові невпинного підвищення якості продукції та послуг. Виходячи з цього сталий економічний розвиток залізничної галузі потребує комплексного підходу, а саме: удосконалення тарифної політики та забезпечення її гнучкості в залежності від зміни попиту; розширення спектру та якості послуг, диверсифікації і подальшої комерціалізації діяльності залізниці. Вирішення цих питань неможливе без впровадження нових схем доставки вантажів не тільки за принципом "точно в строк", а і з урахуванням надання послуг із зберігання вантажів, формування оптимальних партій відправки, забезпечення митного обслуговування тощо [1-3].

Це потребує від залізниці певних інноваційних підходів щодо змін у технології просування вагонопотоків і, насамперед, відправлень вантажів маршрутними поїздами, що дозволить скоротити питомі експлуатаційні витрати та забезпечить вантажовласникам оптимальні умови перевезення, а залізниці – високий рівень конкурентоспроможності на транспортному ринку.

Аналіз досліджень і публікацій

Жорстка конкурентна боротьба на ринку транспортних послуг активізувала поглиблені та всебічні дослідження організаційно-економічного і техніко-технологічного характеру перевезень стосовно подальшого розвитку залізничної галузі на основі сучасних логістичних підходів.

Так, в публікації [4] запропоновано шляхи підвищення ступеню обґрунтованості управлінських рішень щодо використання рухомого складу. Питання підвищення ефективності використання локомотивів розглянуто в роботі [5], доцільність створення нової транспортної системи для здійснення маршрутних залізничних перевезень вантажів малими ві-

дправленнями з швидкістю пасажирських поїздів обґрунтовано в дослідженні [6].

Важливі питання організації технологічних маршрутів з місць навантаження та з оптимізації їх складу на технічних станціях з урахуванням умови маркетингу та сервісу перевезень, терміну доставки вантажів розглянуто в роботах [7, 8]. Однак, докладно не досліджені витрати, що пов'язані з експлуатацію та використанням технічних засобів залізничних станцій та дільниць.

В роботі [9] запропоновано математичну модель і алгоритм формування оптимального складу поїзда на шляхах незагального користування вагонами різних власників з урахуванням передбачуваної вартості його подальшої переробки. Основу математичної моделі становить транспортна задача з обмеженнями, доповнена трьома показниками власників рухомого складу: вартість, швидкість, готовність до перевезення.

В дослідженні [10] виділено основні питання використання вантажних вагонів різної форми власності та розроблена організаційно-технологічна модель управління парком вантажних вагонів з урахуванням пріоритетного обслуговування вантажовідправників і вантажоодержувачів. Проте, коло питань щодо оптимального складу маршрутних поїздів потребує більш поглибленого дослідження.

Мета та завдання дослідження

Основним видом транспортної діяльності АТ «Укрзалізниця» залишаються вантажні перевезення в межах України. Так, за підсумками 2018 року, у внутрішньому сполученні було перевезено 154,9 млн.т. вантажів. За той же час обсяги перевезень експортних вантажів склали 107,4 млн.т., імпортних – 40,2 млн.т., а транзитних – 16,3 млн.т. Таким чином, обсяг перевезень у внутрішньому сполученні кореспондується з обсягом трьох інших видів перевезень і складає біля 95 % їх величини, або 48,6 % загального обсягу вантажних перевезень. Найбільші обсяги перевезень у 2018 році склали залізо-рудна сировина (22 % від вантажообігу) і вугілля (22 % від вантажообігу). Перевезення зерна залізницею досягло 33 млн т., будматеріалів - 37 млн т. Більшість цих вантажів найбільш вигідно транспортувати крупними вагонними партіями, а в умовах наявності малодіяльних збиткових станцій виникає питання визначення величини цих партій.

Перевезення масових вантажів крупними партіями, особливо маршрутними поїздами, забезпечує вантажовласнику зменшення транспортної складової в собівартості продукції, проте, для залізниці неодмінно виникає питання щодо оптимальної кількості вагонів в такому поїзді, що, в свою чергу, створює умови для раціонального використання залізницею своїх матеріальних, трудових і фінансових ресурсів. З огляду на це актуалізуються дослідження стосовно удосконалення методів визначення оптимального з економічної точки зору складу маршрутного поїзда для кожного окремого маршруту.

Досягнення цієї мети обумовлено вирішенням таких завдань:

- обґрунтування концептуального підходу до визначення критерію оптимальної кількості вагонів в маршрутному поїзді;
- розробка економіко-математичної моделі визначення оптимальної кількості вагонів в поїзді, яка основана на використанні офіційних статистичних даних роботи АТ «Укрзалізниця»;
- застосування запропонованої моделі при визначенні оптимальної кількості вагонів в поїзді для окремого маршрутного перевезення з використанням фактичних даних;
- дослідження впливу окремих технологічних факторів на оптимальну кількість вагонів в маршрутному поїзді.

Основна частина дослідження

Концептуальний підхід. Концепція дослідження щодо визначення оптимального складу маршрутних поїздів, як система початкових теоретичних положень, базується на методі економічних компромісів. Оптимальна кількість вагонів у означених поїздах залежить від таких основних факторів:

− витрати, що пов'язані з кінцевим простоєм вагонів при формуванні поїзда на станції відправлення та розформування поїздів на станції призначення;

− витрати, що пов'язані з рухом поїздів від станції відправлення до станції призначення, а саме: витрати на використання нитки графіку, витрати на використання інфраструктури технічних станцій та витрати на роботу локомотивів на маршруті слідування.

Витрати, що пов'язані з простоєм вагонів при формуванні поїзда на станції відправ-

лення, зростають при збільшенні кількості вагонів (n) в поїзді. Графік цієї залежності наведено на рисунку 1 (лінія 1). Витрати, пов'язані з розформуванням поїзда, також залежать від кількості вагонів в поїзді, а графік цієї залежності аналогічний лінії 1 (рис. 1).

Витрати, пов'язані з рухом поїздів від станції відправлення до станції призначення зменшуються в розрахунку на один вагон при збільшенні їх кількості у поїзді. Вони складаються з витрат на використання нитки графіку, витрат на використання інфраструктури технічних станцій та витрат на роботу локомотивів протягом маршруту слідування (лінія 2 на рис. 1).

Складання сукупності значень ординат обох функцій при заданих значеннях абсцис дає можливість отримати функцію, яка визначає залежність витрат, пов'язаних з формуванням і розформуванням поїздів та витрат, пов'язаних з їхнім рухом, від кількості вагонів в поїзді (рис. 1). Крива сумарних загальних витрат (лінія 3 на рис. 1) має точку мінімуму A, в якій сукупні затрати на перевезення будуть найменшими. Абсциса цієї точки $n_{опт}$ відповідає оптимальній кількості вагонів у маршрутному поїзді.

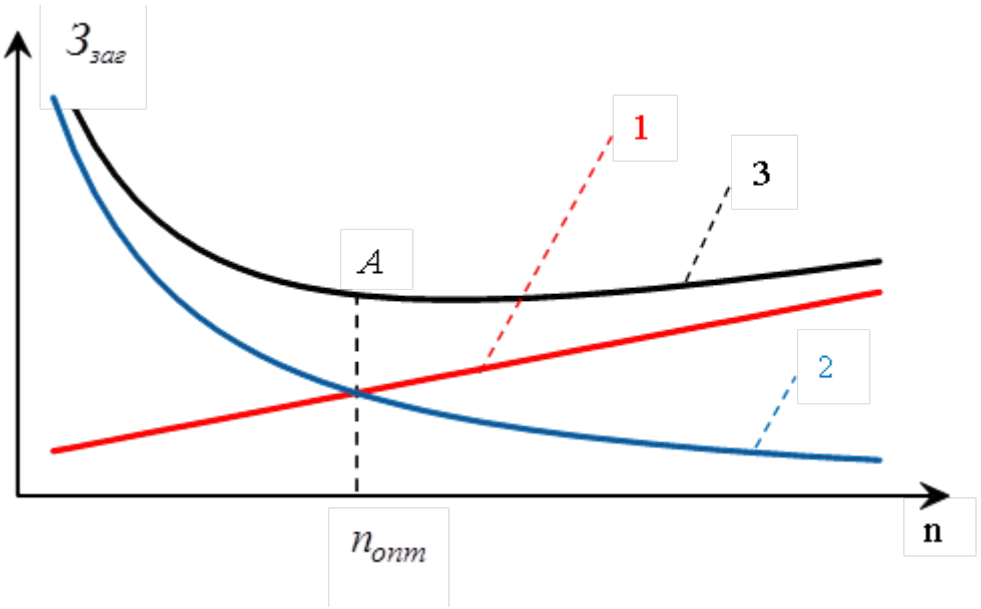

Рис. 1 - Залежність загальних витрат на перевезення від кількості вагонів в поїзді, де: 1 - витрати пов'язані з формуванням поїзда; 2 – витрати пов'язані з рухом поїздів; 3 – загальні витрати

Визначення оптимальної кількості вагонів на основі економіко - математичного моделювання. Цей метод визначення оптимальної кількості вагонів у маршрутних поїздах адаптовано до щорічних офіційних даних про роботу АТ «Українська залізниця».

Оптимальна кількість вагонів буде відповідати мінімальному значенню функції, що отримана як сума витрат на формування, розформування та рух поїздів за окремим маршрутом слідування:

$$З_{заг} = З_{ф} + З_{р} + З_{сф} + З_{ср} + З_{л.рух} + \\ + З_{л.ст} + З_{п.рух} + З_{п.ст} + З_{то} \to \min, \quad (1)$$

де: $З_{заг}$ – загальні питомі витрати на формування, розформування, технічний огляд та рух поїзду між станціями відправлення і призначення, грн./ваг.;

$З_{ф}$ – питомі витрати, що пов'язані з формуванням поїзда, грн./ваг.;

$З_{р}$ – питомі витрати, що пов'язані з розформуванням поїзда, грн./ваг.;

$З_{сф}$ – питомі витрати на використання інфраструктури на станції формування поїзда. грн./ваг.;

$З_{ср}$ – питомі витрати на використання інфраструктури на станції розформування поїзда, грн./ваг.;

$З_{п.рух}$ − питомі витрати на використання інфраструктури на перегоні при русі поїзда, грн./ваг.;

$З_{п.ст.}$ − питомі витрати на використання інфраструктури на перегоні при стоянці поїзда, грн./ваг.;

$З_{л.рух}$ − питомі витрати, що пов'язані з роботою магістральних локомотивів при русі поїзда, грн./ваг.;

$З_{л.ст.}$ − питомі витрати, що пов'язані з роботою магістральних локомотивів при стоянці поїзда на перегонах, грн./ваг.;

$З_{то}$ − питомі витрати на використання інфраструктури технічної станції при проведенні технічного і комерційного оглядів поїзда, грн./ваг.

Питомі витрати, що пов'язані з формуванням поїзда ($З_{ф}$), в розрахунку на один вагон визначаються за формулою:

$$З_{ф} = З_1 \cdot \frac{t_1(1+n)}{2}, \qquad (2)$$

де: $З_1$ − питомі витрати, що пов'язані з простоєм вагонів при формуванні поїзда, грн./ваг.;

t_1 − час простою останнього причепленого вагону при формуванні поїзду або час очікування причеплення магістрального локомотиву (приймаємо рівним часу простою останнього вагону), год.;

n − кількість вагонів у маршрутному поїзді.

Питомі витрати, що пов'язані з розформуванням поїздів ($З_{р}$), в розрахунку на один вагон визначаються за формулою:

$$З_{р} = З_1 \cdot \frac{t_2(1+n)}{2}, \qquad (3)$$

де: t_2 − час простою першого відчепленого вагону при розформуванні поїзду або час очікування відчеплення магістрального локомотиву (приймаємо рівним часу простою останнього вагону), год..

Питомі витрати на використання інфраструктури на станції формування поїзду ($З_{сф}$) в розрахунку на один вагон визначаються за формулою:

$$З_{сф} = З_2 \cdot \frac{\ell_2 t_1(1+n)}{2}, \qquad (4)$$

де: $З_2$ − питомі витрати на використання одного км інфраструктури на станціях формування, розформування та технічних станціях протягом однієї години у вантажному русі, грн.;

ℓ_2 − корисна довжина путі, що займає один поїзд на станціях формування, розформування, технічних станціях та при стоянці на перегоні протягом однієї години у вантажному русі, км.

Питомі витрати, що пов'язані з розформуванням поїздів ($З_{ср}$), в розрахунку на один вагон, визначаються за формулою:

$$З_{ср} = З_2 \cdot \frac{\ell_2 t_2(1+n)}{2}. \qquad (5)$$

Питомі витрати, що з пов'язані з роботою магістральних локомотивів при русі поїзда ($З_{л.рух}$) визначаються за формулою:

$$З_{л.рух.} = З_4 \cdot \frac{t_З}{n}, \qquad (6)$$

де: $З_4$ − питомі витрати на одну локомотиво-годину у вантажному русі (при русі поїзда на перегонах), грн.;

$t_З$ − чистий час руху поїзда на маршруті від станції відправлення до станції призначення, год., що розраховується як:

$$t_З = \frac{S_1}{V}, \qquad (7)$$

де: S_1 − довжина маршруту слідування поїзда, км;

V − середня технічна швидкість поїзда, км/год.

Питомі витрати, що пов'язані з роботою магістральних локомотивів при стоянці поїзда на перегонах ($З_{л.ст.}$), визначаються за формулою:

$$З_{л.ст.} = З_5 \cdot \frac{t_5}{n}, \qquad (8)$$

де: $З_5$ – питомі витрати на одну локомотиво-годину при стоянці поїзда на перегонах, грн./год.;

t_5 – час простою поїзда на перегонах, год., що розраховується як:

$$t_5 = t_6 - t_3, \qquad (9)$$

де: t_6 – загальний час проходження поїзда за маршрутом , год., що розраховується як

$$t_6 = \frac{S_1}{S_2} \cdot 24, \qquad (10)$$

де: S_2 – середньодобовий пробіг локомотива (поїзда), км.

Питомі витрати на використання інфраструктури на перегоні при русі поїзда ($З_{n.рух.}$), в розрахунку на один вагон, визначаються за формулою:

$$З_{n.рух.} = З_З \cdot \frac{\ell_1 t_3}{n}, \qquad (11)$$

де: $З_З$ – питомі витрати на використання одного км інфраструктури на

перегоні протягом однієї години у вантажному русі, грн.;

ℓ_1 – середня довжина перегону, що займає один поїзд, з урахуванням дистанції між поїздами, км.

Питомі витрати на використання інфраструктури на перегоні при русі поїзда ($З_{n.ст.}$), в розрахунку на один вагон, визначаються за формулою:

$$З_{n.ст.} = З_З \cdot \frac{\ell_2 t_5}{n}. \qquad (12)$$

Питомі витрати на використання інфраструктури технічної станції при проведенні технічного і комерційного оглядів поїзду визначаються за формулою:

$$З_{то} = З_2 \cdot \frac{\ell_2 t_4 m}{n}, \qquad (13)$$

де: t_4 – тривалість технічного огляду одного вагона;

m – кількість технічних оглядів поїзда на його маршруті слідування.

Підставляючи вирази (2–8) в функцію (1) та враховуючи обмеження $n > 0$, n – цілочислове значення, отримуємо математичну модель визначення оптимальної кількості вагонів у маршрутному поїзді [11]:

$$\begin{cases} З_{заг} = \dfrac{(З_1 + З_2\ell_2)(t_1 + t_2)(1+n)}{2} + \\ + \dfrac{З_4 t_3 + З_2\ell_2 t_4 m + З_З\ell_1 t_3 + З_5 t_5 + З_З\ell_2 t_5}{n} \to \min; \\ З_i > 0,\ t_i > 0,\ i = 1,2,3,4; \\ \ell_1 > 0,\ \ell_2 = \begin{cases} 850\ м.; \\ 1050\ м.; \\ 1250\ м. \end{cases} \\ 0 < n \le \dfrac{\ell_2}{\ell_{ум}},\ n - цілочислове\ значення, \\ m > 0,\ m - цілочислове\ значення, \end{cases} \qquad (14)$$

де: $\ell_{ум}$ - довжина умовного вагону, м. Мінімальне значення $З_{заг}$ досягає в точці A (рис. 1), в якій її перша похідна по n ($\frac{dЗ_{заг}}{dn}$) дорівнює нулю. Тобто,

$$\frac{d3_{заг}}{dn} = \frac{1}{2}\left(3_1 + 3_2\ell_2\right)\left(t_1 + t_2\right) - \\ -\frac{1}{n^2}\begin{pmatrix} 3_4t_3 + 3_2\ell_2t_4\, m + 3_3\ell_1t_3 + \\ +3_3\ell_2t_5 + 3_5t_5 \end{pmatrix} = 0. \quad (15)$$

Враховуючи умову додатності змінної n, отримаємо формулу для знаходження оптимальної кількості вагонів у маршрутному поїзді:

$$n_{опт} = \sqrt{\frac{2\begin{pmatrix} 3_4t_3 + 3_2\ell_2t_4\, m + 3_3\ell_1t_3 + \\ +3_5t_5 + 3_3\ell_2t_5 \end{pmatrix}}{\left(3_1 + 3_2\ell_2\right)\left(t_1 + t_2\right)}}. \quad (16)$$

Оскільки друга похідна $\frac{d^2 3_{заг}}{dn^2}$ більше нуля, а саме:

$$\frac{d^2 3_{заг}}{dn^2} = \frac{1}{n^3}\begin{pmatrix} 3_4t_3 + 3_2\ell_2t_4\, m + \\ +3_3\ell_1t_3 + 3_5t_5 + 3_3\ell_2t_5 \end{pmatrix} > 0, \quad (17)$$

то це свідчить, що формула (16) дає можливість визначити цілочислове значення оптимальної кількості вагонів ($n_{опт}$) у маршрутному поїзді, з мінімальними загальними витратами на транспортну роботу.

Апробація запропонованого методу визначення оптимальної кількості вагонів у маршрутних поїздах. Для розрахунку оптимальної кількості вагонів у маршрутному поїзді були використані дані про середні питомі витрати на перевезення по Укрзалізниці за 2017 рік і основні показники роботи АТ «Українська залізниця» за цей період, які наведені у таблиці 1.

Табл. 1 - Вихідні дані до розрахунку оптимального складу маршрутного поїзду

№	Позначення	Назва показника	Середні питомі витрати (за даними АТ «Укрзалізниця»)
1	S_1	Довжина маршруту слідування поїзда, км.	600
2	S_2	Середньодобовий пробіг локомотива, км.	487,6
3	V	Середня технічна швидкість поїзда, км/год.	45,2
4	t_1	Час простою одного вагону при формуванні поїзда, год.	0,40
5	t_2	Час простою одного вагону при розформуванні поїзда, год.	0,30
6	t_3	Чистий час руху поїзда по маршруту $\frac{S_1}{V}$, год.	13,3
7	t_4	Тривалість техогляду одного вагону, год.	0,05
8	3_1	Питомі витрати, що пов'язані з простоєм вагонів при формуванні поїзда, грн./ваг.	15,93
9	3_2	Питомі витрати на використання одного км інфраструктури на станціях формування, розформування та технічних станціях, протягом однієї години у вантажному русі, грн.	57,61
10	3_3	Питомі витрати на використання одного км інфраструктури на перегоні, протягом однієї години у вантажному русі, грн.	65,46

Продовження табл. 1

11	$З_4$	Питомі витрати на одну локомотиво-годину (електротяга) у вантажному русі, при русі поїзда на перегонах (визначається як сума $З_5$ та питомих витрат на електроенергію в русі – 2928,17 грн./год.), грн.	3685,30
12	$З_5$	Питомі витрати на одну локомотиво-годину (електротяга), при стоянці поїзда на перегонах, грн./год.	727,13
13	ℓ_1	Середня довжина перегону, що займає один поїзд, з урахуванням дистанції між поїздами, км.	6
14	ℓ_2	Корисна довжина путі, що займає один поїзд на станціях формування, розформування, технічних станціях та при стоянці на перегоні, протягом однієї години у вантажному русі, км.	1,25
15	m	Кількість технічних оглядів поїзда на маршруті слідування	3

Загальний час проходження поїзда за маршрутом за формулою (10) становитиме

$$t_6 = \frac{600}{487,6} \cdot 24 = 29,5 \text{ год.}$$

За формулою (9) визначаємо час простою поїзда на перегонах:

$t_5 = 29,5 - 13,3 = 16,2$ год.

Використовуючи вираз (16), знаходимо значення оптимальної кількості вагонів ($n_{опт}$) у маршрутному поїзді:

$$n_{опт} = \sqrt{\frac{2\left(3685,30 \cdot 13,3 + 727,13 \cdot 16,2 + 57,61 \cdot 1,25 \cdot 0,05 \cdot 3 + 65,46 \cdot 6 \cdot 13,3 + 65,46 \cdot 1,25 \cdot 16,2\right)}{\left(15,93 + 57,61 \cdot 1,25\right)\left(0,4 + 0,3\right)}} \approx 46,79.$$

Таким чином, для заданих параметрів оптимальна кількість вагонів у маршрутному поїзді складає 46 од.

За даними таблиці 1 і з використанням формули (14), визначаємо мінімальні витрати на один вагон по маршруту перевезення, які складають 2909, 62 грн. Виходячи з цього, сукупні витрати на перевезення вантажу поїздом з 46 вагонів складуть 133842,52 грн. (2907,07×46), або в розрахунку на одну поїздо-годину витрати складуть 4537,03 грн. (136632/29,5). Слід зазначити, що за даними Укрзалізниці в 2017 році питомі витрати на одну поїздо-годину для 46 вагонів при електровозній тязі у вантажному русі складали в середньому 11299,9 грн.

Дослідження впливу окремих факторів на оптимальну кількість вагонів в маршрутному поїзді. На рисунку 2 представлена оптимальна величина кількості вагонів в залежності від довжини маршруту слідування поїзда S_1 ($S_1 \in [400;1200]$) і його середньої технічної швидкості V ($V \in [25;70]$) для параметрів, наведених в таблиці 1.

Аналіз залежностей наведених на рисунку 2 показує, що оптимальна кількість вагонів у маршрутному поїзді має пряму залежність від довжини маршруту слідування поїзда S_1 і обернену залежність від його середньої технічної швидкості V.

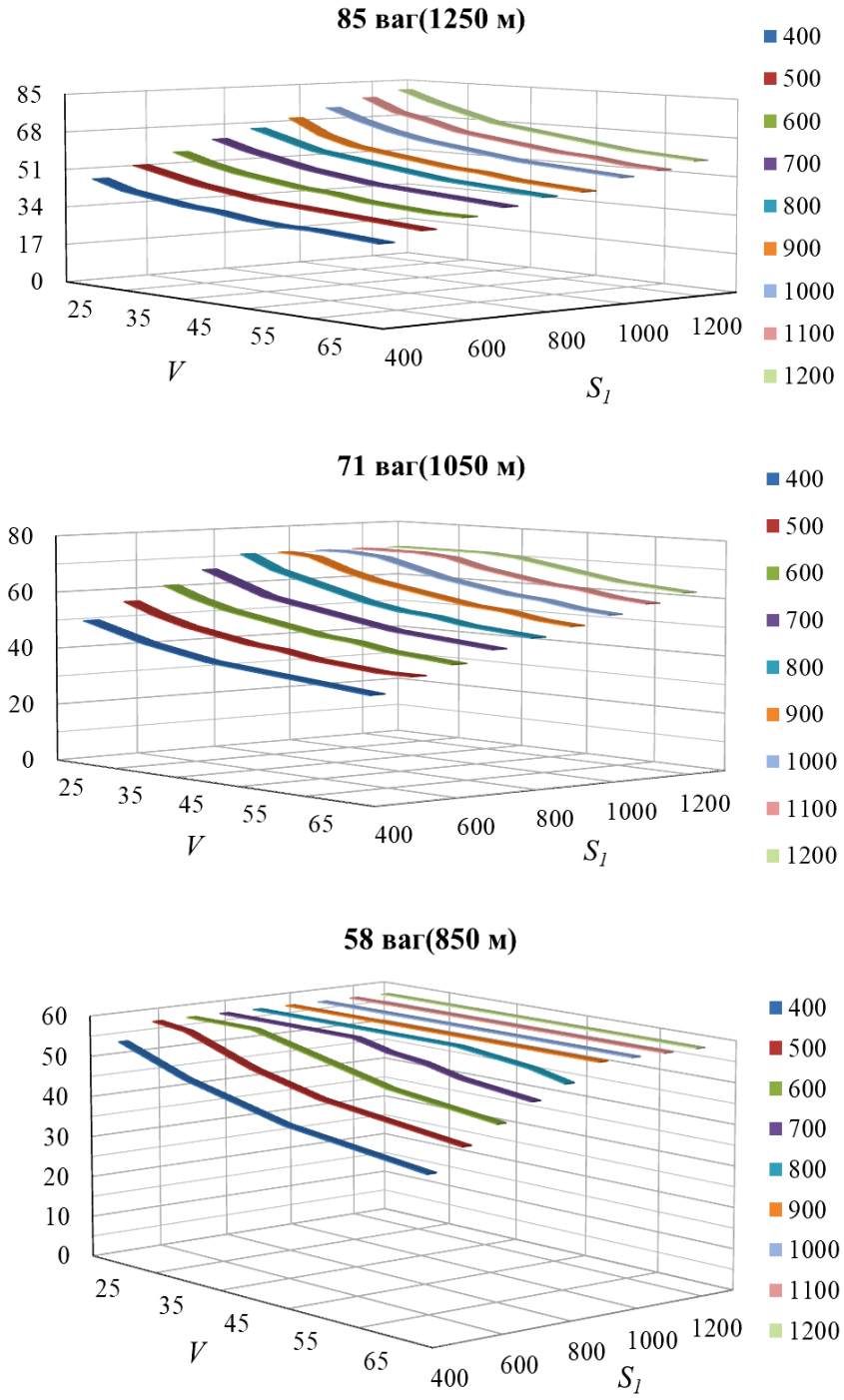

Рис. 2 – Вплив довжини маршруту слідування, середньої технічної швидкості та інших факторів на оптимальну кількість вагонів в маршрутному поїзді

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що застосування методу економічних компромісів між витратами, які виникають при формуванні поїздів, і витратами, що пов'язані з їхнім рухом, дозволяє визначити оптимальну кількість вагонів у складі вантажного поїзда при здійсненні маршрутних перевезень.

Отримано економіко-математичну модель, яка враховує всі найважливіші фактори, що впливають на умови перевезень за встановленим маршрутом. Модель побудовано на основі використання офіційних статистичних даних роботи АТ "Укрзалізниця", її філій та структурних підрозділів і вона має універсальний характер. Запропонована модель може застосовуватися для оптимізації експлуатаційних витрат при будь-якому маршруті ван-

тажного залізничного перевезення, за умов врахування його особливостей.

Обґрунтованість запропонованого методу та адекватність отриманої моделі підтверджується наведеним розрахунком оптимального складу вантажного поїзда, що слідує за окремим маршрутом.

Література

1. Балака Е.И. Концепция формирования тарифной политики как фактор конкурентобезопасности железнодорожного транспорта / Е.И. Балака, А.Ю. Чередниченко // - Вісник Харківського національного університету ім. В.Н.Каразіна. – 2001. – № 512. – С. 57-59.

2. Панченко С.В Концептуальні підходи до диверсифікації діяльності ПАТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ» / С.В. Панченко, Г.В. Ватуля, Є.І. Балака, Д.С. Лючков // Українська залізниця. – 2018. – № 9 (63). – С. 15-19.

3. Балака Є.І. Раціоналізація митних процедур в умовах міжнародної транспортної діяльності / Є.І. Балака, Є.С. Альошинський // Українська залізниця. – 2017. – № 7-8 (49-50). – С. 35-38.

4. Lomotko D.V., Kovalov A.O., Koval'ova O. V. Formation of the fuzzy support system for decision-making on merchantability of rolling stock in its allocation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Т. 6. – No. 3 (78). – pp. 11-17, http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54496.

5. Butko T., Prokhorchenko A., Muzykin M. Improvement of methods for determining locomotive circulation patterns with regard to the technological features of car-stream flows. East-European Journal of Advanced Technologies. – 2016. – Vol. 5. – No. 3. – pp. 47-55.

6. Балака Є.І. Закономірності розвитку вантажних перевезень і задачі залізниці. Тенденції розвитку вантажних перевезень в Україні / Є.І. Балака, Д.С. Лючков // Українська залізниця. – 2019. – № 7 (73). – С. 13-17.

7. Некрашевич В.И. Поездная работа при постоянных размерах грузового движения и нефиксированной массе и длине составов / В.И. Некрашевич, В.Е. Козлов, В.И. Бодюл, Л.Ф. Бородин // Вестник ВНИИЖТ. – 1991. – № 8. – С. 12-17.

8. Congli, H.. Optimization on Combination of Transport Routes and Modes on Dynamic Programming for a Container Multimodal Transport System. Procedia Engineering, Issue 1877-7058, pp. 382-390.

9. Золотарев С.А. Математическая модель и алгоритм формирования оптимального состава поезда вагонами различных собственников на путях необщего пользования / С.А. Золотарев, А.Д. Сиразетдинова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. - № 4 (48). – С. 164 - 167.

10. Данько Н.И. Разработка организационно-технологической модели управления парком грузовых вагонов разной собственности / Н.И. Данько, Д.В. Ломотько, В.В. Кулешов // Инновационный транспорт. – 2012. – № 4 (5). – С. 8-13.

11. Панченко Н.Г. Елементи дослідження операцій в управлінні процесами перевезень: підручник / Н.Г. Панченко, М.Є. Резуненко. Харків: «Діса плюс», 2015. – Ч. 1. - 280 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Ломотько Денис Вікторович,
д. т. н., професор, завідувач кафедри
«Транспортні системи та логістика»
Українського державного університету
залізничного транспорту.
Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна.
Тел.: +38 057 730 19 55.
E-mail: den@kart.edu.ua.
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7624-2925.

Балака Євген Іванович,
к. е. н., доцент кафедри
«Транспортні системи та логістика»
Українського державного університету
залізничного транспорту.
Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна.
Тел.: +38 057 730 19 55.
E-mail: ev.balaka@gmail.com.
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8936-4729.

Резуненко Марина Євгенівна,
к. т. н., доцент кафедри «Вища математика»
Українського державного університету
залізничного транспорту.
Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна.
Тел.: +38 057 730 10 37.
E-mail: ev.balaka@gmail.com.
ORCID: http://orcid.org/ 0000-0003-2073-5242.