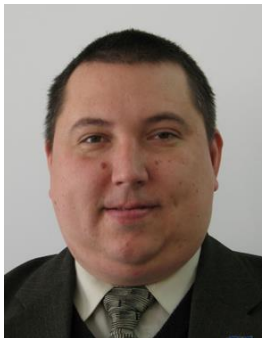


УДК 656.212:656.225

DOI: 10.34029/2311-4061-2020-137-4-04-14



*Д-р техн. наук  
Ломотко Д. В.*



*Канд. екон. наук  
Балака Є. І.*



*Канд. техн. наук  
Резуенко М. Є.*

## ЛОГІСТИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДУ МАРШРУТНИХ ПОЇЗДІВ В СИСТЕМІ «ВАНТАЖОВЛАСНИК – ЗАЛІЗНИЦЯ»

*Ключові слова: залізниця, вантажовласник, вантажні перевезення, маршрутний поїзд, приватна локомотивна тяга, кількість вагонів, залізнична інфраструктура.*

### Вступ

Багаторічний світовий і вітчизняний досвід функціонування транспортного ринку переконливо свідчить, що стрімкий розвиток малого і середнього бізнесу, стале скорочення ресурсоемності ВВП країни зменшує сегмент діяльності залізничного транспорту в межах перевезення масових вантажів, де він

поки що не відчуває конкуренції [1]. Забезпечення стійкого положення залізниці на ринку перевезень неможливе без системного підходу до вирішення питань щодо удосконалення тарифної політики, розширення послуг, диверсифікації її діяльності, забезпечення митного обслуговування, формування оптимальних партій відправки тощо [2-5]. На думку керівництва залізничної галузі її подальший розвиток «...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» [6].

За таких умов загострюється необхідність запровадження маршрутних поїздів для перевезень вугілля, руди, зерна тощо. В умовах впровадження приватної тяги, для АТ «Укрзалізниця» це відносно новий підхід до вирішення питання удосконалення технології транспортування вантажів великими партіями. Про це свідчать наміри керівництва галузі збільшити в найближчий час обсяги вантажних перевезень маршрутними поїздами з 5 % в 2018 р. до 30 %. Досвід останніх кількох років показує відчутно зростаючу ефективність таких інноваційних змін, яка проявляється в збільшенні добового пробігу поїздів понад 1,5 разів, зменшення їхніх простоїв на технічних станціях, скорочення часу оборту вагона тощо. Це створює умови для економії матеріальних ресурсів та їхнього раціонального використання. Тому доцільність і актуальність розвитку маршрутних перевезень не викликає сумніву, оскільки саме впровадження сучасних енергозберігаючих технологій є ключовою задачею галузі.

Проте, перехід від традиційної технології вантажних перевезень на основі збірних поїздів до сучасної маршрутизованої системи транспортного обслуговування потребує більш глибоких досліджень, перш за все, в питаннях оптимізації організаційно-економічних показників перевезення означених вантажів маршрутними відправленнями. Найбільш значущим параметром, що суттєво впливає на собівартість залізничних вантажних перевезень (а, відповідно, і на транспор-

тні тарифи), є кількість вагонів в складі поїзда.

### **Аналіз досліджень і публікацій**

Пошук шляхів підвищення ефективності роботи вантажного залізничного транспорту знаходиться в центрі уваги науковців і фахівців галузі, як в Україні, так і за її межами. Особливу актуальність ці питання набувають в умовах посилення конкуренції на ринку перевезень.

В проведених раніше дослідженнях [7] запропоновано шляхи підвищення ступеню обґрунтованості управлінських рішень щодо використання рухомого складу. Питання підвищення ефективності роботи локомотивів розглянуто в роботі [8], доцільність створення нової транспортної системи для здійснення маршрутних залізничних перевезень вантажів малими відправленнями зі швидкістю пасажирських поїздів обґрунтовано в дослідженні [9].

Важливі питання організації технологічних маршрутів з місць навантаження та з оптимізації їхнього складу на технічних станціях з урахуванням умови маркетингу та сервісу перевезень, терміну доставки вантажів розглянуто в роботах [10,11]. Однак, при цьому докладно не досліджені витрати, пов'язані з експлуатацією та використанням технічних засобів залізничних станцій і дільниць.

В науковій розробці [12] запропоновано математичну модель і алгоритм формування оптимального складу поїзда на шляхах не загального користування вагонами різних власників, з урахуванням передбачуваної вартості його подальшої переробки. Основу математичної моделі становить транспортна задача з обмеженнями, доповнена трьома ключовими показниками, що цікавлять власників рухомого складу: вартість, швидкість та готовність до перевезення.

За результатами досліджень [13] виділено основні питання використання вантажних вагонів різної форми власності та розроблено організаційно-технологічну модель управління парком вантажних вагонів, з урахуванням пріоритетного обслуговування вантажовідправників і вантажоодержувачів. Результати дослідження щодо оптимальної ваги вантажного поїзда і рівня впливу організаційно-технічних факторів на експлуатаційні затрати наведено у роботі [14].

В роботі [5] досліджено можливість визначення оптимального складу маршрутного

поїзда на основі знаходження найбільш прийняттого варіанта розв'язання взаємопов'язаних економічних протиріч в межах однієї транспортної системи. Досліджуються протилежно направлені вектори витрат, обумовлені з одного боку формуванням та розформуванням маршрутних поїздів, що зростають при збільшенні кількості вагонів і з іншого боку – витратами, пов'язаними з рухом поїздів, які зменшуються при цьому. Внаслідок цього вирішується задача знаходження оптимального варіанту взаємодії (поєднання) двох протилежних за своїм характером факторів впливу.

### **Мета та завдання дослідження**

Основний обсяг транспортного обслуговування національною залізницею припадає на внутрішньодержавні вантажні перевезення, де питома вага масових вантажів (вугілля, руда, нафтопродукти, будівельні матеріали, метал, зерно) в загальному обсязі перевезень досягає 95,3 %. Застосування маршрутної технології вантажних перевезень крупними партіями дозволяє скоротити експлуатаційні витрати залізниці та зменшити величину обігових коштів вантажовласника за рахунок зниження транспортної складової в собівартості продукту. Виходячи з прагнення керівництва АТ «Укрзалізниця» збільшити в шість разів обсяг таких перевезень, порівняно з 2018 роком, актуальним напрямом досліджень стає визначення оптимальних умов транспортного обслуговування, які б задовольняли перш за все економічні інтереси клієнтів, забезпечували попит на ці послуги та надавали би стабільний прибуток залізниці.

Досягнення цієї мети обумовлено вирішенням таких завдань:

- дослідження закономірності існування та форм прояву протиріч в системі «вантажовласник – залізниця»;
- обґрунтування методологічного підходу до визначення оптимального складу маршрутного поїзда на основі економічного компромісу між вантажовласником і залізницею;
- розробка економіко-математичної моделі визначення оптимального складу маршрутного поїзда;
- визначення оптимального складу маршрутного поїзда для окремого перевезення з використанням офіційних даних роботи АТ «Укрзалізниця»;

- дослідження і аналіз впливу окремих факторів на оптимальну кількість вагонів в маршрутному поїзді та на питому величину витрат на перевезення і зберігання вантажу.

Дане дослідження слід сприймати як подальший розвиток теоретичних підходів та методичних положень, які наведено в роботі [5] за результатами попередніх досліджень маршрутних вантажних поїздів.

### **Основна частина дослідження**

#### ***Актуальність проблематики маршрутизації вантажопотоків***

З метою визначення взаємовигідних для суб'єктів господарювання умов застосування маршрутних перевезень доцільно дослідити закономірності співіснування та форми прояву протиріч в системі «вантажовласник – залізниця». Згідно з канонами логістичної діяльності та сталими підходами до організації цих процесів вирішальне значення у визначенні обсягу одноразового постачання товару належить його замовнику, бо саме цей суб'єкт господарювання оцінює вигідний для нього обсяг однієї партії замовленого товару. Філософсько-економічний зміст транспортної діяльності полягає у визначенні оптимального варіанту функціонування системи залізничного транспорту, яка, як і будь-яка інша система, може існувати тільки поєднуючи в собі внутрішні протиріччя та знаходячи компроміси між ними, тобто в повній відповідності з дією одного із загальних законів діалектики – «єдності та боротьби протилежностей». Це є необхідною, але недостатньою умовою існування транспортної системи. Разом з цим достатньою умовою є взаємодія системи залізничного транспорту з іншими системами, які обслуговує залізниця, а саме, системами виробництва та споживання продуктів. В свою чергу співіснування цих трьох систем утворює макросистему більш високого ієрархічного рівня. Обов'язковою умовою існування та розвитку цієї макросистеми є економічні протиріччя, що виникають між її складовими елементами – системами нижчого рівня: виробництвом, транспортуванням і споживанням, які набувають ознак підсистем. Ці, тепер вже внутрішні протиріччя макросистеми, теж є проявом закону діалектики – «єдності і боротьби протилежностей», тільки на більш високому рівні.

Дія цих трьох підсистем проявляється у формі факторів, які є рухомою силою проце-

су перевезень і визначають його характер (маршрутні перевезення) або окремі його риси (оптимальний склад поїзду). Проте, їхня роль щодо оптимізації кількості вагонів в маршрутних поїздах вкрай неоднозначна. Мова йде про обсяг вантажу (товару), що постачається одному замовнику (вантажовласнику) в межах одного відправлення маршрутним поїздом, де вагон виступає в якості фізичної одиниці виміру обсягу вантажу.

Згідно з канонами логістичної діяльності та сталими підходами до організації цих процесів вирішальне значення у визначенні обсягу одноразового постачання товару належить його замовнику, бо саме цей суб'єкт господарювання оцінює вигідний для нього обсяг однієї партії замовленого товару. Роль перевізника в цій системі є менш вагомою і суттєво обмеженою, а його вплив на розмір одного постачання проявляється лише у вартості транспортних послуг.

Третій елемент цієї макросистеми – виробник товару, майже повністю залежить від умов взаємоузгодження і взаємодії перших двох вищезгаданих елементів, оскільки мінімально впливає на обсяг одного замовлення товару і, відповідно, його транспортування. Він вимушений прийняти їхні умови (перш за все – замовника) та пристосувати до них своє виробництво або відмовитись від участі в процесі обертання свого товару в межах цієї макросистеми.

Таким чином, слід зазначити, що оптимальна кількість вагонів при перевезенні вантажу маршрутними поїздами перш за все залежить від обсягу партії замовленого товару, що визначається сукупними витратами вантажовласника на його транспортування та зберігання, а прагнення залізниці оптимізувати склад маршрутного поїзду тільки за критерієм мінімізації своїх експлуатаційних витрат на перевезення має похідний характер. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що концептуальний підхід до визначення оптимального складу маршрутного поїзда повинен віддзеркалювати економічні інтереси як вантажовласника (замовника товару), так і перевізника, де пріоритетне значення належить вантажовласнику.

Вирішення цього питання знаходиться в площині пошуку економічних компромісів між цими двома системами господарювання. В свою чергу в кожній з цих систем необхід-

но досягти економічних компромісів внутрішнього характеру. А саме, у вантажовласника – між витратами на транспортування однієї партії та витратами на її зберігання; у залізниці – між витратами на формування та розформування поїзду і витратами, обумовленими його рухом. Існування макросистеми, до якої входять ці дві системи, можливо лише за умови знаходження економічних компромісів як всередині самих систем, так і між ними.

В разі порушення рівноваги впливу між двома елементами (системами), що утворюють макросистему, за рахунок кількісного збільшення факторів, які визначають процес існування і характер одного з елементів, макросистема перестане існувати в даній якості та перетвориться в іншу макросистему зі специфічними для неї якісними рисами, заперечуючи характерні ознаки своєї попередниці, проте, успадковуючи найбільш позитивні її риси. Таким чином, дієздатність та подальший розвиток макросистеми в складі вантажовласника (замовника товару) і перевізника (залізниці) відбувається відповідно до дії законів діалектики, а саме: «єдності та боротьби протилежностей» та «переходу кількісних змін в якісні».

Організація вантажних перевезень маршрутними поїздами є окремим видом діяльності транспортної системи в складі макросистеми загальнодержавних економічних взаємозв'язків між потенційними вантажовідправниками та вантажоотримувачами. Тому методологія визначення оптимальної кількості вагонів при перевезенні масових вантажів в межах одного замовлення такими поїздами повинна спиратись на принцип взаємної вигідності умов співпраці вантажовласника та залізниці шляхом знаходження економічних компромісів. Особливу актуальність вирішення цього питання набуває в умовах впровадження приватної локомотивної тяги.

**Визначення оптимального складу маршрутного поїзда на основі економічного компромісу між вантажовласником і залізницею**

Концепція методології визначення оптимального складу маршрутного поїзда полягає в мінімізації сукупних витрат вантажовласника і залізниці (що враховуються в транспортному тарифі) в процесі перевезення та подальшого зберігання вантажу у вантажовлас-

ника. Загальний обсяг цих витрат складається з:

- а) витрат залізниці, пов'язаних з:
  - простоем вагонів при формуванні поїздів на станції відправлення та їхнього розформування на станції призначення;
  - рухом поїздів за встановленим маршрутом з урахуванням витрат на використання нитки графіку, витрат на використання інфраструктури та роботу локомотивів;
- б) витрат вантажовласника (замовника товару), пов'язаних з:
  - сплатою за перевезення товару (транспортний тариф), що включає експлуатаційні затрати залізниці (група «а» тарифу) та прибутку;
  - зберіганням товару до моменту подальшого його використання.

Грунтовний аналіз характеру витрат групи «а» та їх формалізований вираз наведено в попередній роботі авторів [5]. На рисунку 1 показано залежності сукупних витрат залізниці і вантажовласника від кількості вагонів в маршрутному поїзді. Витрати залізниці (група «а») характеризуються кривою 1 (рис.1).

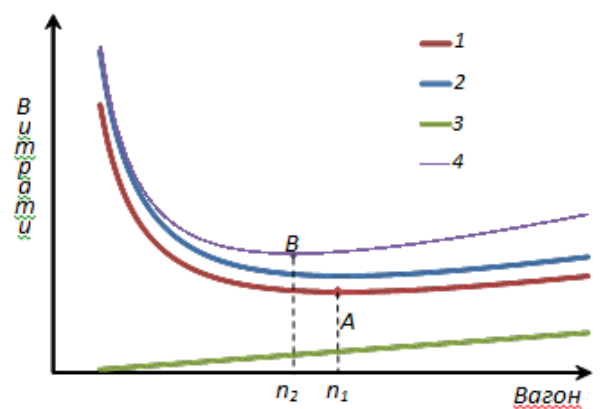


Рис. 1 - Залежність сукупних витрат вантажовласника і залізниці від кількості вагонів в маршрутному поїзді, де: 1 – загальні витрати залізниці; 2 – витрати вантажовласника на перевезення (транспортний тариф); 3 – витрати вантажовласника на зберігання товару; 4 – сукупні витрати вантажовласника.

Витрати вантажовласника (група «б») – транспортний тариф за перевезення вантажу (крива 2) – формуються відповідно загальним витратам залізниці на перевезення та її прибутку, виходячи з встановленого рівня

рентабельності для транспортування вантажу даного виду. Витрати вантажовласника, пов'язані з зберіганням товару, зростають при збільшенні обсягу поставки товару, тобто кількості вагонів в обсязі одного замовлення (пряма 3). Точка «А» на графічній залежності показує мінімальні загальні витрати залізниці, без урахування витрат вантажовласника, що відповідає оптимальній для залізниці кількості вагонів у поїзді  $n_1$ . Точка «В» позначає мінімальні сукупні витрати вантажовласника, що відповідають оптимальній для нього кількості вагонів у поїзді  $n_2$ . При цьому в транспортному тарифі враховуються загальні витрати залізниці та її прибуток від перевезення.

Таким чином, критерій мінімуму сукупних витрат вантажовласника дозволяє визначити оптимальну кількість вагонів в складі маршрутного поїзда, тобто вирішити взаємні економічні протиріччя двох систем в макросистемі «вантажовласник - залізниця». Така величина кількості вагонів є умовою економічного компромісу між вантажовласником і залізницею оскільки відповідає їхнім взаємним інтересам.

$$Z_{c.в} = T_{mp} + Z_{зб} \rightarrow \min, \quad (1).$$

$$Z_{c.в} = Z_{зб} + \left[ Z_{\phi} + Z_p + Z_{сф} + Z_{ср} + Z_{л.рух} + Z_{л.ст} + Z_{н.рух} + Z_{н.ст} + Z_{то} \right] \cdot (1 + P), \quad (3)$$

де:  $Z_{c.в}$  – витрати вантажовласника на перевезення партії товару в обсязі  $n_2$  вагонів маршрутного поїзда (транспортний тариф);

$Z_{\phi} = Z_1 \cdot \frac{t_1(1+n)}{2}$  – витрати, що пов'язані з формуванням поїзда, грн./ваг.;

$Z_1$  – питомі витрати, 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.;

де:  $Z_{c.в}$  - сукупні витрати вантажовласника;

$T_{mp}$  - витрати вантажовласника на перевезення партії товару в обсязі  $n_2$  вагонів маршрутного поїзда (транспортний тариф);

$Z_{зб}$  - витрати вантажовласника на зберігання партії товару в обсязі  $n_2$  вагонів маршрутного поїзда.

Витрати вантажовласника на перевезення партії товару в обсязі  $n_2$  вагонів маршрутного поїзда (транспортний тариф, крива 2, рис. 1) визначаються на основі загальних експлуатаційних витрат залізниці ( $Z_{заг}$ ), пов'язаних з використанням маршрутного поїзду [5], (крива 1, рис. 1) та встановленим рівнем рентабельності ( $P$ ) на перевезення окремого вантажу цим поїздом, та визначається виразом

$$T_{mp} = Z_{заг} \cdot P. \quad (2)$$

Виходячи з проведених досліджень [5] вираз (2) набуває розгорнутого виду:

$n$  – кількість вагонів у маршрутному поїзді;

$Z_p = Z_1 \cdot \frac{t_2(1+n)}{2}$  – витрати, що пов'язані з розформуванням поїзда, грн./ваг.;

$t_2$  – час простою першого відчепленого вагону при розформуванні поїзду або час очікування відчеплення магістрального локомотиву (приймаємо рівним часу простою останнього вагону), год.;

$Z_{сф} = Z_2 \cdot \frac{l_2 t_1(1+n)}{2}$  – витрати на використання інфраструктури на станції формування поїзда, грн./ваг.;

$Z_2$  – 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;

$$Z_{cp} = Z_2 \cdot \frac{l_2 t_2 (1+n)}{2} - \text{витрати на вико-}$$

ристання інфраструктури на станції розформування поїзда, грн./ваг.;

$$Z_{л.рух} = Z_4 \cdot \frac{t_3}{n}, - \text{питомі витрати,}$$

пов'язані з роботою магістральних локомотивів при русі поїзда, грн./ваг.;

$Z_4$  – питомі витрати на одну локомотиво-годину у вантажному русі (при русі поїзда на перегонах), грн.;

$$t_3 = \frac{S_1}{V} - \text{чистий час руху поїзда на мар-}$$

шруті від станції відправлення до станції призначення, год.;

$$Z_{л.ст} = Z_5 \cdot \frac{t_5}{n} - \text{питомі витрати,}$$

пов'язані з роботою магістральних локомотивів при стоянці поїзда на перегонах, грн./ваг.;

$Z_5$  – питомі витрати на одну локомотиво-годину при стоянці поїзда на перегонах, грн./год.;

$$Z_{n.рух} = Z_3 \cdot \frac{l_1 t_3}{n} - \text{витрати на викорис-}$$

тання інфраструктури на перегоні при русі поїзда, грн./ваг.;

$Z_3$  – 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;

$S_1$  – довжина маршруту слідування поїзда, км.;

$V$  – середня технічна швидкість поїзда, км/год.;

$$Z_{n.ст} = Z_3 \cdot \frac{l_2 t_5}{n} - \text{витрати на викорис-}$$

тання інфраструктури на перегоні при стоянці поїзда, грн./ваг.;

$t_5 = t_6 - t_3$  – час простою поїзда на перегонах, год.;

$$t_6 = \frac{S_1}{S_2} \cdot 24 - \text{загальний час прохо-}$$

дження поїзда за маршрутом, год.;

$S_2$  – середньодобовий пробіг локомотива (поїзда), км;

$$Z_{mo} = Z_2 \cdot \frac{l_2 t_4 m}{n} - \text{питомі витрати на}$$

використання інфраструктури технічної станції при проведенні технічного і комерційного оглядів, грн./ваг.;

$t_4$  – тривалість технічного огляду одного вагона;

$m$  – кількість технічних оглядів поїзда на маршруті слідування;

$$Z_{зб} = q \cdot t_7 \cdot c \cdot \frac{n}{2}, - \text{витрати вантажовла-}$$

сника на зберігання товару в обсязі одного вагона, грн./ваг.;

$q$  – обсяг вантажу, що перевозиться одним вагоном, т.;

$t_7$  – термін зберігання частини партії вантажу (товару) в обсязі одного вагона у вантажовласника, діб.;

$c$  – витрати на зберігання одиниці (1т) вантажу (товару) протягом доби, грн./доб.

При визначенні витрат на зберігання отриманого вантажу слід враховувати, що його середній запас у вантажовласника складає половину величини одного постачання, тобто половину вантажу, що перевозиться маршрутним поїздом у складі  $n$  вагонів.

Вираз (3), з урахуванням обмежень на параметри, дає можливість побудувати математичну модель (4) для визначення оптимальної кількості вагонів у маршрутному поїзді в межах одного замовлення (у вагонних одиницях виміру), що задовольняє інтереси як вантажовласника, так і залізниці, на умовах економічного компромісу [11]:

$$Z_{c.в} = q \cdot t_6 \cdot c \cdot \frac{n}{2} + \left[ \frac{(3_1 + 3_2 l_2)(t_1 + t_2)(1 + n)}{2} + \frac{3_4 t_3 + 3_2 l_2 t_4 m + 3_3 l_1 t_3 + 3_5 t_5 + 3_3 l_2 t_5}{n} \right] \cdot (1 + P) \rightarrow \min;$$

$$\begin{cases} 3_i > 0, t_j > 0, i = \overline{1,5}; j = \overline{1,7}; \\ l_1 > 0, l_2 = \begin{cases} 850 \text{ м.}; \\ 1050 \text{ м.}; \\ 1250 \text{ м.} \end{cases} \\ 0 < n \leq \frac{l_2}{l_{ум}}, n - \text{цілочислове значення}, \\ m > 0, m - \text{цілочислове значення}, \end{cases} \quad (4)$$

де  $l_{ум}$  - довжина умовного вагону, м.

Мінімальне значення  $Z_{c.в}$  досягає в точці  $B$  (рис. 1), в якій її перша похідна по  $n$  ( $\frac{dZ_{c.в}}{dn}$ ) дорівнює нулю. Тобто

$$\frac{dZ_{c.в}}{dn} = (1 + P) \cdot \frac{(t_1 + t_2) \cdot (3_1 + 3_2 \cdot l_2)}{2} - \frac{(1 + P) \cdot (3_4 t_3 + 3_2 l_2 t_4 m + 3_3 l_1 t_3 + 3_3 l_2 t_5 + 3_5 t_5)}{n^2} + \frac{q \cdot t_7 \cdot c}{2} = 0.$$

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

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{2(1 + P)(3_4 t_3 + 3_2 l_2 t_4 m + 3_3 l_1 t_3 + 3_5 t_5 + 3_3 l_2 t_5)}{(1 + P)(3_1 + 3_2 l_2)(t_1 + t_2) + q \cdot t_7 \cdot c}}. \quad (5)$$

Наведений вираз (5) дозволяє знайти цілочислове значення оптимальної кількості вагонів ( $n_{opt}$ ) у маршрутному поїзді, що забезпечує економічні інтереси вантажовласника і залізниці.

**Визначення оптимального складу маршрутного поїзда для окремого перевезення**

Для розрахунку оптимальної кількості вагонів у поїзді були використані дані про середні питомі витрати по АТ «Укрзалізниця» за 2018 рік і основні показники роботи товариства за цей період (табл. 1).

Загальний час проходження поїзда за маршрутом становитиме

$$t_6 = \frac{600}{447,9} \cdot 24 = 32,15 \text{ год.},$$

а час простою поїзда на перегонах -  $t_5 = 32,15 - 13,9 = 18,25$  год.

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

№	Позначення	Назва	Середні питомі витрати
1	$S_1$	Довжина маршруту слідування поїзда, км	600
2	$S_2$	Середньодобовий пробіг локомотива, км	447,9
3	$V$	Середня технічна швидкість поїзда, км/год.	43,3
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.	13,9
7	$t_4$	Тривалість техогляду одного вагону, год.	0,05
8	$Z_1$	Питомі витрати, що пов'язані з простоєм вагонів при формуванні поїзда, грн./ваг.	20,25
9	$Z_2$	Питомі витрати на використання одного км інфраструктури на станціях формування, розформування та технічних станціях протягом однієї години у вантажному русі, грн.	73,02
10	$Z_3$	Питомі витрати на використання одного км інфраструктури на перегоні протягом однієї години у вантажному русі, грн.	68,41
11	$Z_4$	Питомі витрати на одну локомотиво-годину (електротяга) у вантажному русі при русі поїзда на перегонах (визначається як сума $Z_5$ та питомих витрат на електроенергію в русі – 3227,01 грн./год.), грн.	4146,38
12	$Z_5$	Питомі витрати на одну локомотиво-годину (електротяга) при стоянці поїзда на перегонах, грн./год.	919,37
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
16	$q$	Вага вантажу, що перевозиться одним вагоном, т	60
17	$t_7$	Термін зберігання частини партії вантажу (товару) в обсязі одного вагона, який буде направлено в подальше використання вантажовласником в першу чергу, діб	1
18	$c$	Затрати на зберігання 1 т вантажу (товару) протягом доби, грн./доб.	0,7
19	$P$	Встановлений рівень рентабельності	0,20 (20%)



Використовуючи вираз (5), знаходимо значення оптимальної кількості вагонів ( $n_{opt}$ ) у маршрутному поїзді  $n_{opt} \approx 38$ .

Таким чином, для заданих параметрів оптимальна кількість вагонів у маршрутному поїзді, яка відповідає економічним інтересам вантажовласника та залізниці, складає 38 од. За цієї умови сукупні витрати вантажовласника (в яких враховано витрати обох суб'єктів господарювання) будуть мінімальними. Слід зазначити, що оптимальна кількість вагонів, яка визначена тільки з позиції мінімальних витрат залізниці, без урахування інтересів вантажовласника відповідно методу наведеному у роботі [5], складає 46 вагонів. Проте, перевагою даного методу є те, що: по-перше, враховуються затрати на зберігання товару (а такі послуги може надавати заліз-

ниця); по-друге, при зменшенні кількості вагонів залізниця не несе збитків, оскільки рентабельність перевезень однакова при будь-якому складі маршрутного поїзда, тобто перевізник працює в умовах відносної «економічної рівновигідності».

**Вплив окремих факторів на оптимальну кількість вагонів в маршрутному поїзді**

На рисунку 2 показано закономірність зміни оптимальної кількості вагонів у маршрутному поїзді та сукупних витрат на перевезення в розрахунку на один вагоно-км, в залежності від величини витрат на зберігання товару у вантажовласника, для довжини маршруту поїзда (400, 600, 800 і 1000 км), за незмінних інших умов.

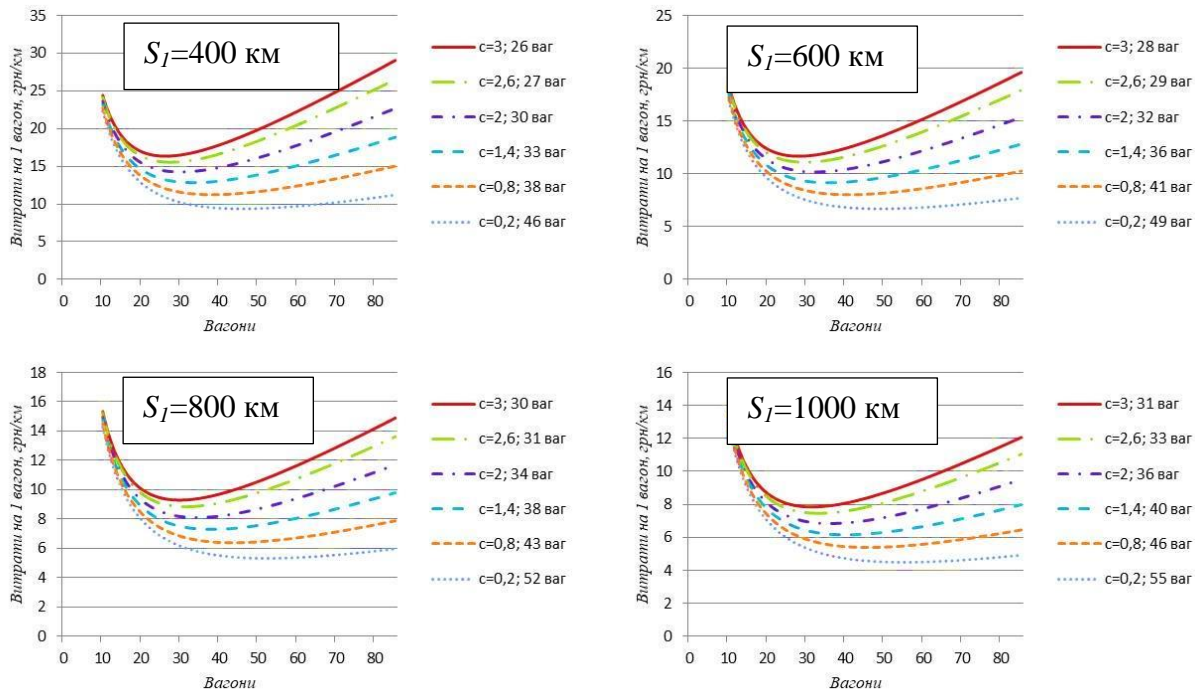


Рис. 2 - Закономірність зміни оптимальної кількості вагонів у маршрутному поїзді та сукупних витрат на перевезення, в розрахунку на один вагоно-км

Аналіз наведених графічних залежностей показує, що при різній довжині маршруту спостерігається:

- зменшення оптимальної кількості вагонів при збільшенні питомих витрат на зберігання товару і навпаки;
- зростання сукупних витрат в розрахунку на один вагоно-км, за умови скорочення маршруту поїзда і навпаки.

Поглиблений аналіз впливу інших технологічних факторів на оптимальний склад ма-

шрутного поїзду потребує проведення більш ґрунтовних досліджень.

**Висновки**

Проведені дослідження дозволили встановити, що умовою існування макросистеми «вантажовласник – залізниця» є рівновага протиріч, як між її складовими елементами, так і всередині кожного з них у відповідності з діями законів діалектики. Функціонування, дієздатність та подальший розвиток цієї макросистеми можливий за наявності економіч-

них компромісів між існуючими протиріччями. Тому концепція методології оптимізації складу маршрутного поїзда повинна спиратися на визначення взаємовигідних умов співіснування елементів макросистеми, де пріоритетне значення має вантажовласник.

Виходячи з цього запропоновано економіко-математичну модель, яка враховує всі важливі фактори взаємовідносин вантажовласника і залізниці в процесі перевезення вантажів маршрутними поїздами та дозволяє знайти оптимальне рішення щодо кількості вагонів в їхньому складі, яке задовольняє економічні інтереси обох суб'єктів господарювання. Модель побудована на основі використання офіційних статистичних даних роботи АТ "Укрзалізниця" має універсальний характер і дає можливість мінімізувати сукупні затрати вантажовласника й залізниці при будь-якому маршрутному перевезенні вантажів залізницею за умов врахування його особливостей. Обґрунтованість запропонованого методу та адекватність отриманої моделі підтверджується наведеним розрахунком оптимального складу вантажного поїзда, що слідує за окремим маршрутом.

Встановлено, що за різних інших умов при збільшенні питомих витрат на зберігання вантажу оптимальна кількість вагонів маршрутного поїзда, в обсязі одного замовлення, зменшується (за критерієм мінімізації сукупних витрат вантажовласника), а сукупні витрати вантажовласника в розрахунку на один вагоно-км, за умови скорочення маршруту поїзда, зростають.

### *Література*

1. Балака Є.І. Тенденції розвитку залізничних перевезень в провідних країнах світу / Є.І. Балака, О.І. Зоріна, Н.М. Колеснікова // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 1. – С. 22-23.

2. 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.

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

4. 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.

5. Ломотько Д.В. Визначення оптимальної кількості вагонів у маршрутних поїздах / Д.В. Ломотько, Є.І. Балака, М.Є. Резуненко // Залізничний транспорт України. – 2019. – № 4. – С. 4-12.

6. Стратегія розвитку транспортної галузі України в умовах карантину: залізниця, порти та автотранспорт [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://agropolit.com/spetsproekty/720-strategiya-rozvitku-transportnoyi-galuzi-ukrayini-v-umovah-karantinu-zalznitsya-porti-ta-avtotransport>.

7. Lomotko D.V., Kovalov A.O., Kovalova 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 [Електрон. ресурс]. – 2015. – Т. 6. – № 3 (78). – pp. 11-17. Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54496>.

8. 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. – № 3. – pp. 47-55.

9. Lomotko D.V., Alyoshinsky E.S., Zambrybor G.G. Methodological aspect of the logistics technologies formation in reforming processes on the railways. Transportation Research Procedia, 14, 2762-2766. Congli, H.. Optimization on Combination of Transport Routes and Modes on Dynamic Programming for a Container Multimodal Transport System. Procedia Engineering. - 2016. – Issue 1877-7058. – pp. 382-390.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. Левин Д.Ю. Оптимальная весовая норма поездов // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике, 2018. – № 4 (77). – С. 49-54.

14. Панченко Н.Г., Резуненко М.Є. 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. Фейербаха, 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. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна.  
Тел.: +38 057 730 19 55.  
E-mail: [ev.balaka@gmail.com](mailto:ev.balaka@gmail.com).  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8936-4729>.

**Резуненко Марина Євгенівна,**

к. т. н., доцент, в.о. завідувачки кафедри «Вища математика» Українського державного університету залізничного транспорту.  
Пл. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна.  
Тел.: +38 057 730 10 37.  
E-mail: [ev.balaka@gmail.com](mailto:ev.balaka@gmail.com).  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2073-5242>.

## ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ» ДЕ ПЕРЕДПЛАТИТИ ВИДАННЯ?

Оформити передплату на науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України» на квартал, а також на весь 2021 рік можливо у кожному поштово-відділенні України за Каталогом видань України або на офіційному сайті ДП «Преса» [www.presa.ua](http://www.presa.ua).

Періодичність видання журналу – 4 рази на рік.

**Передплатний індекс: для індивідуальних передплатників – 74126,  
для підприємств і організацій – 40294.**

Передплату (річну, на півріччя чи на один кварталний випуск) підприємства та фізичні особи також можуть оформити на договірних умовах у видавця журналу філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця», за адресою:

**03038, м. Київ, вул. Івана Федорова, 39.**

**Електронна пошта: [ztu1520mm@gmail.com](mailto:ztu1520mm@gmail.com).**

**Тел.: +38 (044) 465-38-11; +38 (044) 309-68-93.**