

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.22.05:330.13

Г. Я. МОЗОЛЕВИЧ<sup>1\*</sup>, А. В. ТРОЯН<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 12, ел. пошта MгMozG81@mail.ru, ORCID 0000-0002-4715-1645

<sup>2\*</sup> ДП «Придніпровська залізниця», пр. Карла Маркса, 108, Дніпропетровськ, Україна, 49602, тел. +38 (056) 793 27 63, ел. пошта trojan\_andrey@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5133-5201

## ВПЛИВ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДОПОТОКУ НА ЗАГАЛЬНИЙ ПРИБУТОК ЗАЛІЗНИЦЬ

**Мета.** Робота спрямована на аналіз впливу таких параметрів, як кількість поїздів на дільниці та довжина вантажного поїзда, на загальний прибуток залізниці та визначення загального прибутку Придніпровської залізниці за основними дільницями пропуску поїздів. Необхідним є також визначення питомої ставки прибутку на 1 кілометр експлуатаційної довжини кожної окремої ланки залізничної мережі. **Методика.** Для досягнення поставленої мети були розроблені імітаційні моделі дільниць залізничного полігону та проведено моделювання пропуску вантажних поїздів. На основі отриманих результатів визначені залежності основних параметрів поїздопотоків та їх вплив на загальний прибуток залізниці. **Результати.** На основі проведених досліджень для визначення оптимальних маршрутів пропуску поїздів та вибору раціональних параметрів поїздопотоків було розроблено функції експлуатаційних витрат по кожній дільниці. За їхньою допомогою розраховані експлуатаційні витрати, дохід, загальний прибуток залізниці та визначений вплив параметрів поїздопотоків на економічні показники роботи залізничного транспорту. Визначено, що оптимальним є пропуск вантажних поїздів довжиною 53–56 умовних вагона, а завантаження дільниці повинно складати 75–85 % від наявної пропускної спроможності. З огляду на отримані результати пріоритетним розвитком залізничного транспорту під час можливого підвищення розмірів руху є електрифікація дільниць із тепловозною тягою (у зв'язку зі значною вартістю дизельного палива). **Наукова новизна.** Авторами була удосконалена технологія визначення загального прибутку залізниць на основі змінних параметрів поїздопотоків. Вперше визначена та запропонована для використання при визначенні інвестиційної привабливості залізниць питома ставка прибутку на 1 кілометр експлуатаційної довжини дільниці у залежності від середньодобових розмірів руху. Розроблені імітаційні моделі окремих дільниць реального залізничного полігону Придніпровської залізниці. **Практична значимість.** Використання розроблених імітаційних моделей дозволить аналітичним шляхом розрахувати економічний ефект від збільшення добового поїздопотоків. Впровадження моделей також допоможе виділити фактори, які впливають на прибуток залізниці по окремим дільницям пропуску поїздів шляхом визначення питомої ставки прибутку.

*Ключові слова:* залізничний полігон; поїздопотік; імітаційне моделювання; експлуатаційні витрати; загальний прибуток залізниць; питома ставка прибутку

### Вступ

Сучасні тенденції та напрями розвитку економіки України на шляху європейської інтеграції передбачають високу динаміку економічних зв'язків, у тому числі і транспортних потоків. Вони, в першу чергу, орієнтовані на гнучкість економічної системи, та можливість оперативної зміни пріоритетних напрямів кооперації залежно від зовнішньоекономічної і політичної ситуації у країні та світі [9].

Результати реформування європейських залізниць 1985–2005 рр. вказують на те, що

в цілому реформи були вигідні в плані ефективності і продуктивності послуг залізничного транспорту [13]. У цьому аспекті залізничний транспорт України, як одна з основних складових економіки потребує реформування відповідно до вимог сучасного ринку транспортних послуг. Залізнична система є складною системою з багатьма взаємодіючими процесами [14]. Сьогоднішні умови функціонування залізничного транспорту України характеризуються зміною структури й обсягів вантажо- та поїздопотоків. Так залізниці України протягом 2014 року перевезли 389,7 млн. т вантажів, що

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

становить 87,8 % до аналогічного періоду 2013 р. У внутрішньому сполученні перевезено 182,6 млн. т, імпорتنі перевезення становлять майже 36,2 млн. т, експорт – понад 141,3 млн. т, транзитні – 29,5 млн. т. При цьому внутрішні перевезення, порівняно з 2013 роком, зменшилися на 20,3 %, експортні – на 2,9 %, транзитні – на 13,3 %. Імпорتنі перевезення зросли на 3,7 %. [3].

У зв'язку з цим змінилась і структура вантажопотоку за родом вантажів. Так у загальних обсягах вантажів збільшилися перевезення зерна і зернових (122,1 %), коксу (119,7 %) та лісових вантажів (102,3 %), обсяги інших вантажів зменшилися: кам'яного вугілля (на 16,8 %), нафти і нафтопродуктів (на 13,7 %), чорних металів (на 9,5 %), руди залізної і марганцевої (на 2 %) [3].

У цей час існує ще одна, досить актуальна, проблема залізничного транспорту. Так у зв'язку з напруженою ситуацією у країні, Укрзалізниця змушена в оперативному порядку виконувати розподіл поїздопотоків через постійні обмеження на дільницях залізничної мережі східної України.

Це викликало необхідність корінних змін на залізничному транспорті, у першу чергу в системі керування його експлуатаційною роботою. Триває активний пошук нових форм і методів роботи, що забезпечують взаємовигідні відносини з регіонами і підприємствами галузі, підвищення прибутковості перевізного процесу в умовах конкуренції з іншими видами транспорту [10].

Основним з пріоритетних напрямків розвитку залізниць є використання сучасних методів організації оперативного розподілу поїздопотоків, які враховують, в першу чергу, економічну ефективність від перевезення вантажів за рахунок зниження собівартості перевезень і підвищення ефективності використання рухомого складу та залізничної інфраструктури. Сучасні транспортні системи повинні відповідати високим вимогам щодо надійності та доступності послуг [15].

Фундаментальною основою підвищення ефективності експлуатаційної роботи залізниць України в сучасних умовах є впровадження нових методів управління перевізним процесом

на базі інформаційних і керуючих технологій з використанням принципів технолого-економічної моделі перевізного процесу. На сучасному етапі економічних взаємин управлінсько-апаратів всіх рівнів необхідно вміти приймати попередньо економічно обґрунтовані організаційні й технологічні рішення, які дозволять мінімізувати витрати і збільшити дохідні надходження. Впровадження інформаційних технологій перевізного процесу в межах ідеології технолого-економічної моделі управління дозволить досягти значного зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних з перевезенням вантажів (поліпшення використання рухомого складу, оптимізація регулювання та прискорення обігу вагона) [7]. Також, з огляду на подальшу реструктуризацію залізничного транспорту та пошуку іноземних інвесторів, необхідно презентувати Укрзалізницю, як стабільно прибуткове підприємство з привабливим макро- та мікроекономічним середовищем.

### Мета

Мета роботи – визначення загального прибутку Придніпровської залізниці за основними дільницями пропуску поїздів та аналіз впливу таких параметрів, як кількість поїздів на дільниці і довжина вантажного поїзда, на загальний прибуток залізниці; визначення питомої ставки прибутку на кілометр експлуатаційної довжини кожної окремої ланки залізничної мережі.

*Постановка задачі:* Для виконання наукових досліджень розглядається залізничний полігон, який включає основні вантажонапружені дільниці Придніпровської залізниці:

– одноколіїні: Кривий Ріг – Верхівцеве, Апостолове – Нижньодніпровськ-Вузол (НДВ), Нижньодніпровськ – Вузол – Павлоград, Павлоград – Красноармійськ;

– двоколіїні: Верхівцеве – НДВ, Кривий Ріг – Запоріжжя-Ліве, Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове, Запоріжжя-Ліве – Синельникове, Синельникове – Павлоград, Синельникове – Красноармійськ (рис. 1).

Об'єктом дослідження є реальний залізничний полігон Придніпровської залізниці; предмет дослідження – вантажні поїздопотоки, що пропускаються по заданому полігоні.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**Методика**

Для визначення оптимальних маршрутів пропуску поїздів та вибору раціональних параметрів поїздопотоків на залізничному напрямку, з метою мінімізації загальних витрат залізниць визначаємо функції експлуатаційних витрат по кожній дільниці окремо. Для цього були розроблені імітаційні моделі кожної дільниці залізничного полігону на основі міністерського графіка руху поїздів та з урахуванням основних їх характеристик: довжина дільниці, кількість головних колій, технічна швидкість вантажних поїздів, керівний ухил, вагові норми, кількість технічних станцій та умовна довжина приймально-відправних колій цих станцій і т.п. Дослідження виконувалось з використанням розробленої моделі [5]. Інформаційна складова моделі пропуску поїздопотоків для кожної окремої дільниці має вигляд графіка руху поїздів (рис 2). Розроблені моделі, на відміну від існуючих, надають можливість системно проаналізувати організацію руху поїздів на залізничних напрямках з урахуванням особливостей роботи кожної дільниці окремо.

Виконуючи апроксимацію експерименталь-

них даних, визначених моделюванням пропуску поїздопотоків по дільницях, отримуємо математичний опис залежності часу ходу вантажного поїзда по перегону від кількості вантажних поїздів і умовної довжини состава. Для дільниці Верхівцеве – Нижньодніпровськ-Вузол функція залежності має вигляд:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2, (1)$$

де  $x_1, x_2$  – змінні кількості: вантажних поїздів на дільниці за добу та умовної довжини состава відповідно;  $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$  – сталі коефіцієнти (табл. 1).

Для візуального аналізу характеру залежності тривалості знаходження поїздів на дільниці від зміни кількості вантажних поїздів і умовної довжини состава отримані функції подаємо у графічному вигляді (рис 3). Аналогічні залежності від зміни кількості вантажних поїздів і умовної довжини состава були визначені для середньої швидкості руху вантажних поїздів на дільниці, кількості локомотивів та середньодобового обороту одного локомотива.



Рис. 1. Залізничні шляхи сполучення між основними технічними станціями Придніпровської залізниці

Fig. 1. Railway connections between key technical stations of Prydniprovsk railway

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

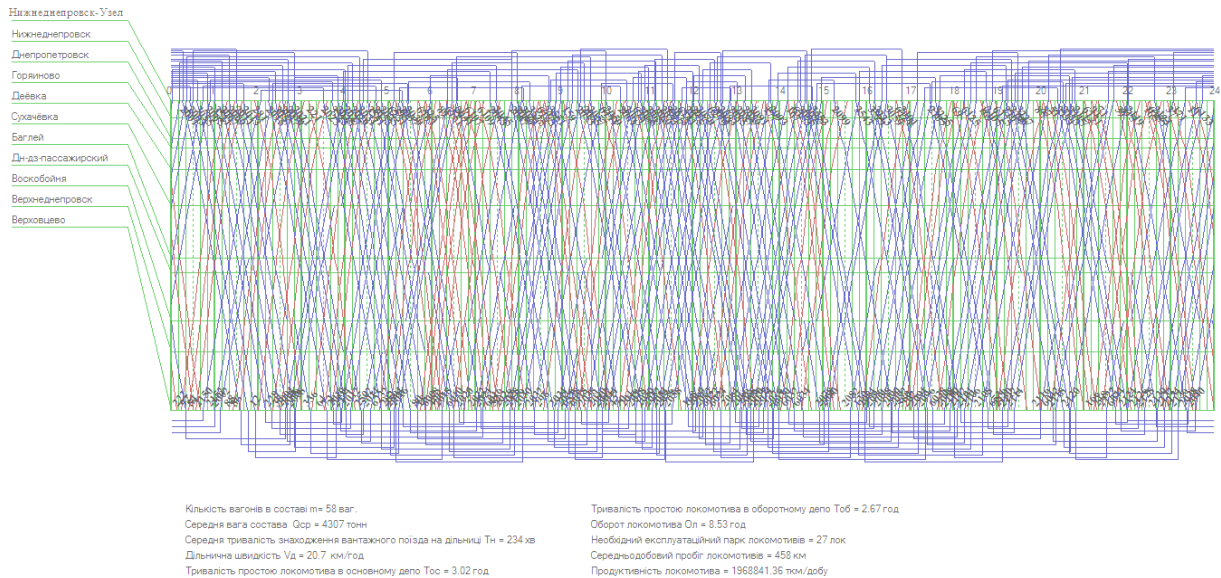


Рис. 2. Результати моделювання руху поїздів на двоколійній дільниці Нижньодніпровськ Вузол – Верхівцеве

Fig. 2 Results of simulation for the double-track train station Nyzhnodniprovsk Vuzol – Verkhivtseve

Таблиця 1

**Коефіцієнти функції залежності тривалості знаходження поїздів на дільниці від зміни кількості вантажних поїздів і умовної довжини состава**

Table 1

**The coefficients of functions depending on the duration of the train on the section from change the number of freight trains and conditional length of rolling stock**

b0	1917,7914
b1	-0,0378
b2	-63,5683
b12	-0,0097
b11	0,0074
b22	0,5625

Для перевірки адекватності даної моделі був використаний метод повного факторного експерименту (ПФЕ). Він реалізує всі можливі і неповторювані комбінації незалежних змінних, кожна з яких примусово варіює на двох рівнях. Кількість цих комбінацій при  $n$  факто-

рах визначає тип планування [1]. Для того, щоб встановити залежність функції відгуку від двох факторів  $t=f(N,m)$  (фактор 1 – кількість вантажних поїздів ( $N$ ), фактор 2 – умовна довжина поїзда ( $m$ )), був розглянутий вплив кожного фактора на двох рівнях.

У результаті перевірки адекватності моделі було визначено, що більший вплив на функцію має саме перший фактор, зважаючи на те, що врахування довірчого інтервалу відхилило врахування окремо другого фактора, залишивши при цьому вплив добутку факторів. Таким чином слід зауважити, що на тривалість знаходження окремого поїзда на дільниці впливає саме його умовна довжина ( $m$ ), а на середню тривалість знаходження поїзда на дільниці – кількість вантажних поїздів ( $N$ ).

У результаті виконаних дослідів отримані необхідні дані для розрахунку експлуатаційних витрат: середньодобові розміри руху вантажних поїздів, середня вага брутто та умовна довжина поїзда, загальний час руху по дільниці, кількість зупинок, оборот локомотива. На їхній основі і виконуємо розрахунок експлуатаційних витрат на просування вантажного поїздопотоків по заданому залізничному полігоні Придніп-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ровської залізниці та отриманого загального доходу від здійсненого перевезення вантажів по залізничній мережі.

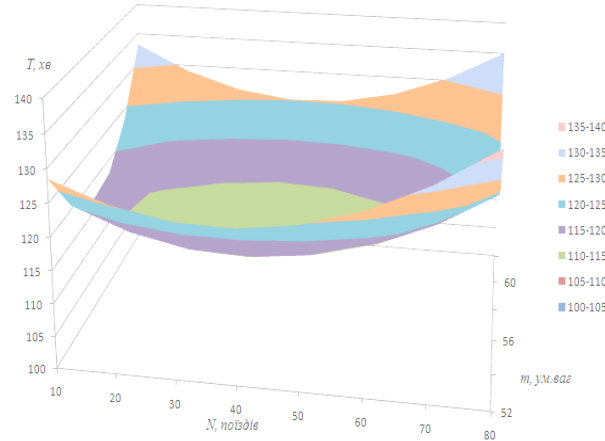


Рис. 3. Залежність часу знаходження поїздів на ділянці від кількості вантажних поїздів та умовної довжини составів, що рухаються на дільниці Верхівцеве – НДВ

Fig. 3. Dependence time of trains on the section from the number of freight trains and conditional length of rolling stock moving at the station Verkhivtseve – NDV

Розглянемо складники експлуатаційних витрат на пропуск поїздопотоку по дільницях залізничного полігону: витрати на електроенергію (дизельне паливо), на утримання локомотивів та локомотивних бригад, на експлуатацію та простій рухомого складу, витрати на зупинки та обслуговування поїздів на технічних станціях. У загальному вигляді функція експлуатаційних витрат має вигляд:

$$E_{заг} = E_{рух} + E_{прост} + E_{ст}, \quad (2)$$

де  $E_{рух}$  – витрати, пов'язані з рухом поїздів на дільниці, грн;  $E_{прост}$  – витрати, пов'язані з простоєм поїздів на перегонах та станціях з урахуванням витрат на розгін-сповільнення, грн;  $E_{ст}$  – витрати, пов'язані з обслуговуванням поїздів на технічних станціях, грн [6].

Витрати, пов'язані з рухом поїздів, включають в себе:

$$E_{рух} = E_{пал} + E_{лок} + E_{утр}^{бр} + E_{утр}^{ваг}, \quad (3)$$

де  $E_{пал}$  – витрати на паливо-енергетичні ресурси, необхідні для пропуску поїздів, грн;  $E_{лок}^{лок}$  – витрати на поточне утримання локомотивів для пропуску заданого вагонопотоку;  $E_{утр}^{бр}$  – витрати на поточне утримання локомотивних бригад, грн;  $E_{утр}^{ваг}$  – витрати на поточне утримання вагонного парку, грн.

Витрати на простій поїздів визначаємо:

$$E_{прост} = E_{прост}^{ваг} + E_{прост}^{лок} + E_{розг-спов}, \quad (4)$$

де  $E_{прост}^{ваг}$  – витрати на простій вагонів на перегонах та станціях, грн;  $E_{прост}^{лок}$  – витрати на простій магістральних локомотивів з бригадою, грн;  $E_{розг-спов}$  – витрати на розгін – уповільнення вантажного поїзда, грн.

Формула витрат на обслуговування поїздів має вигляд:

$$E_{ст} = E_{то} + E_{ст}^{інфр} + E_{змін}^{бр} + E_{змін}^{лок}, \quad (5)$$

де  $E_{то}$  – витрати, пов'язані з технічним оглядом вагонів на технічних станціях дільниці, грн;  $E_{ст}^{інфр}$  – витрати на використання станційної інфраструктури, грн;  $E_{змін}^{бр}$  – витрати на зміну локомотивних бригад, грн;  $E_{змін}^{лок}$  – витрати на зміну локомотива, грн.

Використовуючи одиничні витратні ставки по перевезеннях, витрати залізниць на просування вагонопотоку визначаємо за формулою:

$$E = \left\{ \begin{aligned} & C_{пал} \cdot P_{пал}^{год} \cdot T_{рух} \cdot N_n + C_{лок}^{км} \cdot L_{діл} \cdot N_n + C_{бр}^{год} \cdot T_{рух} \cdot N_n + C_{ваг}^{км} \cdot L_{діл} \cdot N_n \cdot m_{ум.ваг} + C_{інфр}^{пер} \cdot L_{діл} \cdot T_{рух} \cdot N_n + \\ & + C_{прост}^{ваг} \cdot T_{прост} \cdot N_n \cdot m_{ум.ваг} + C_{прост}^{лок} \cdot T_{прост} \cdot N_n + n_{зуп} \cdot (C_{розг} + C_{зальм}) \cdot N_n + C_{то}^{ваг} \cdot N_n \cdot m_{ум.ваг} \cdot K_{то} + \\ & + C_{ст}^{інфр} \cdot T_{то} \cdot N_n + C_{змін}^{бр} \cdot N_n \cdot K_{бр} + C_{змін}^{лок} \cdot N_n \cdot K_{лок} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

де  $C_{нал}$  – вартість одиниці енергоресурсу (1 т палива, для тепловозної тяги), грн;  $C_{лок}^{км}$  – питомі витрати на 1 локомотиво-км вантажного руху, грн;  $C_{бр}^{год}$  – питомі витрати на 1 бригадо-год у вантажному русі, грн;  $C_{ваг}^{км}$  – питомі витрати на 1 вагоно-км загального пробігу вагона вантажного парку, грн;  $C_{прост}^{ваг}$  – питомі витрати на 1 год простою вагона у складі вантажного поїзда, грн;  $C_{прост}^{лок}$  – питомі витрати на 1 год простою магістрального локомотива з бригадою у вантажному русі, грн;  $C_{розг}$  – вартість розгону поїзда, грн;  $C_{гальм}$  – вартість одного гальмування поїзда, грн;  $C_{то}^{1ваг}$  – питомі витрати на технічний огляд 1 вагона вантажного поїзда, грн;  $C_{зміна}^{бр}$  – питомі витрати на зміну локомотивної бригади на технічній станції, грн;  $C_{інфр}^{ст}$  – питомі витрати на використання 1 км станційної інфраструктури протягом години, грн;  $C_{інфр}^{пер}$  – питомі витрати на використання 1 км інфраструктури на перегоні в вантажному русі протягом години, грн;  $C_{зміна}^{лок}$  – питомі витрати на зміну локомотива на технічній станції, грн [11];  $P_{нал}^{год}$  – витрати електроенергії (палива) на пропуск поїзда встановленої маси та довжини, кВт/год (т/год);  $T_{рух}$  – час руху на дільниці, год;  $N_n$  – розміри руху вантажних поїздів на дільниці, поїздів;  $L_{длі}$  – довжина дільниці, км;  $m_{ум.ваг}$  – умовна довжина поїзда, ум. ваг.;  $T_{прост}$  – загальний час простою поїзда на перегонах та станціях дільниці, год;  $n_{зуп}$  – кількість зупинок на шляху слідування (з врахуванням розгону на початковій та гальмування на кінцевій станціях);  $K_{то}$   $K_{бр}$   $K_{лок}$  – кількість технічних оглядів, змін локомотивних бригад та локомотивів відповідно на шляху слідування вантажного поїзда по дільниці.

Під час розрахунку експлуатаційних витрат на просування вагонопотоку слід враховувати те, що дільниці мають різну кількість головних колій та поділяються за видом тяги на електри-

фіковані та із тепловозною тягою [11].

Також у парному та непарному напрямках витрати на електроенергію (паливо) визначаються окремо, залежно від поздовжнього профілю дільниці та маси поїздів, що на ній обертаються. Тому витрати палива визначені тяговими розрахунками на дільницях зі змінними параметрами умовною довжиною та середньою вагою бруто поїзда [8].

Також змінні параметри поїздопотоків мають свої обмеження по кожній дільниці окремо. Система обмежень параметрів функції складається з таких рівнянь та нерівностей.

Обмеження по наявній пропускній спроможності дільниць напрямку:

$$N_{nj} \geq N_{вантj} + N_{насj} \cdot \varepsilon_{нас} + N_{збj} (\varepsilon_{зб} - 1), \quad (7)$$

де  $N_{вантj}$ ,  $N_{насj}$ ,  $N_{збj}$  – кількість вантажних, пасажирських та збірних поїздів на  $j$ -му напрямку;  $\varepsilon_{нас}$ ,  $\varepsilon_{зб}$  – коефіцієнти зняття вантажних поїздів пасажирськими та збірними відповідно.

Обмеження по довжині приймально-відправних колій:

$$l_{лок} + m \cdot l_{ваг} + a \leq l_{кол}, \quad (8)$$

де  $l_{лок}$  – довжина поїзного локомотива на напрямку (згідно з [6]:  $l_{ел}^{618} = 30\text{м}$ ;  $l_{тепл}^{2ТЕ116} = 37\text{м}$ );  $l_{ваг}$  – середня довжина вагона (згідно з [6]:  $l_{ваг} = 15\text{м}$ );  $a$  – допуск на неточність зупинки поїзда (згідно з [6]:  $a = 10\text{м}$ ).

Обмеження по наявній провізній спроможності дільниць:

$$P_{провj}^{спром} \geq N_{вантj} Q_{брj} l_{дліj}, \quad (9)$$

де  $Q_{брj}$  – середня вага бруто поїзда по  $j$ -ій дільниці.

Обмеження по наявній кількості порожнього вагонопотоку:

$$N_{пор} = N_{вант} \cdot \alpha_{пор}, \quad (10)$$

де  $\alpha_{пор}$  – коефіцієнт порожнього вагонопотоку на дільниці.

Обмеження по силі тяги поїзних локомотивів:

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

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

де  $F_{\text{кр}}$  – 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.

Вагові норми поїздів бруто приймаємо згідно з [2].

Обмеження по локомотивному парку:

$$\frac{N_{\text{вант}} O_{\text{л}}}{24} \leq W_{\text{л}}, \quad (12)$$

де  $O_{\text{л}}$  – оборот локомотива.

Окремо було розраховано дохід при сталих вихідних даних, який отримає залізниця від пропуску різної кількості поїздів по кожній з дільниць за формулою:

$$D_i = \frac{C_{10\text{т-кмбр}} \cdot L_{\text{длі}} \cdot N_{ni} \cdot Q_{\text{брі}}^{\text{сеп}}}{10}, \quad (13)$$

де  $i$  – досліджувана дільниця;  $L_{\text{длі}}$  – довжина  $i$ -тої дільниці, км;  $C_{10\text{т-кмбр}}$  – питома доходна ставка на 10 т.км-бруто [12];  $N_{ni}$  – кількість вантажних поїздів, що пропущені по  $i$ -ій дільниці за добу;  $Q_{\text{брі}}^{\text{сеп}}$  – середня вага поїзда бруто, розрахована за формулою:

$$Q_{\text{брі}}^{\text{сеп}} = m_{\text{ум.ваг}} \cdot q_{\text{вагі}}^{\text{сеп}}, \quad (14)$$

де  $q_{\text{вагі}}^{\text{сеп}}$  – середня вага бруто одного вагона, що перевозиться по дільниці, т/ваг.

Порівнявши витрати, яких потребує пропуск поїздів по кожній з дільниць з доходами, що при цьому отримує залізниця, прибуток залізниці від перевезень було визначено за формулою [4]:

$$\Pi_i = D_i - E_i. \quad (15)$$

Маючи прибуток, отриманий від перевезення різної кількості вантажних поїздів, для кожної дільниці було розраховано питому ставку

прибутку на 1 км експлуатаційної довжини дільниці:

$$C_{\text{нрі}}^{1\text{км}} = \frac{\Pi_i}{L_{\text{длі}}}. \quad (16)$$

Цей показник наочно показує, які з дільниць пропуску вантажних поїздів є найбільш прибутковими.

Розрахунок витрат для кожної дільниці виконано за напрямками руху та з розподілом на порожній і вантажний вагонопотік для більш детального визначення залежності експлуатаційних витрат саме у вантажному напрямку.

## Результати

Для визначення оптимальних параметрів поїздопотоків були виконані розрахунки експлуатаційних витрат при зміні умовної довжини поїздів та кількості поїздів на дільниці. Для прикладу наведений розрахунок експлуатаційних витрат при зміні параметрів поїздопотоків для парного вантажного напрямку дільниці Верхівцеве – Нижньодніпровськ – Вузол у табл. 2 та на рис. 4.

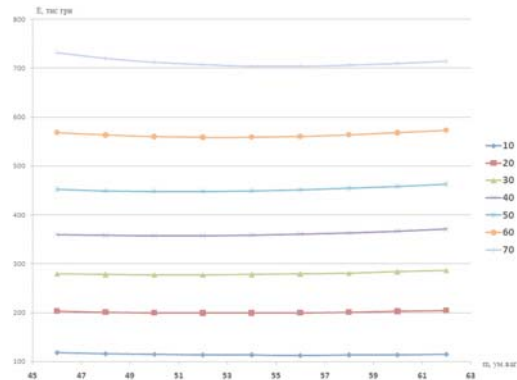


Рис. 4. Залежність витрат від кількості поїздів та умовної довжини поїзда у парному вантажному напрямку дільниці Верхівцеве – НДВ

Fig. 4. Costs dependence from trains number and conditional length in pair freight direction at the station Verkhivtseve – NDV

Згідно з даними графіка, пропуск неповносоставних поїздів є економічно не вигідним, оскільки капітальні вкладення на розвиток інфраструктури перевищують отриманий прибуток від пропуску неповносоставних поїздів.

**Розрахунки експлуатаційних витрат у парному вантажному напрямку на просування вагонопотоку по дільниці Верхівцеве – НДВ**

Table 2

**Calculations of operating costs in pair freight hauling direction on movement of car traffic volume at the station Verkhivtseve – NDV**

Параметри моделювання		Експлуатаційні витрати $E_{заг}$ , грн				
		Умовна довжина поїздів $m_{ум.ваг}$ , ум.ваг.				
		46	50	54	58	62
Кількість вантажних поїздів $N_n$ , поїздів	10	118 602,47	114 615,07	113 047,30	113 192,58	114 703,0324
	20	203 080,42	199 561,48	199 017,47	200 731,97	204 348,0633
	30	279 805,26	277 049,68	277 690,85	281 004,05	286 629,6704
	40	359 785,31	357 095,31	358 457,63	363 042,99	370 438,8551
	50	451 924,14	447 807,78	448 924,72	454 161,52	462 955,8518
	60	568 379,77	559 791,66	558 726,80	563 398,49	572 887,9438
	70	732 195,65	712 009,70	704 354,81	705 716,89	714 285,77

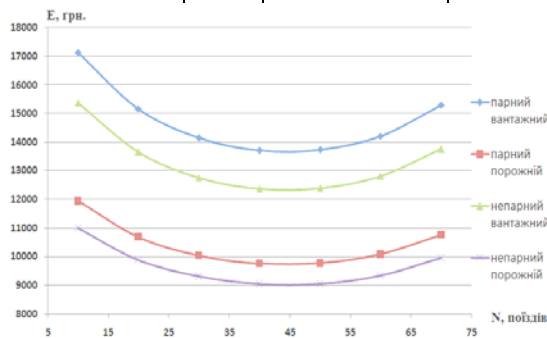


Рис. 5. Питомі витрати на 1 поїзд довжиною 58 умовних вагонів залежно від характеру та розмірів поїздопотоку дільниці Синельникове – Красноармійськ

Fig. 5. Specific costs for one train, length of 58 conventional cars, depending on the character and dimensions of car traffic volume between stations Synelnykove – Krasnoarmiisk

Також пропуск довгосоставних поїздів підвищує загальні експлуатаційні витрати за рахунок додаткових витрат на енергетичні ресурси та додаткові простой на технічних станціях. Тому оптимальна довжина вантажних поїздів коливається у межах 53–56 вагонів, залежно від дільниці.

Під час обробки статистичної інформації

про середньодобові розміри руху вантажних поїздів було визначено, що середня довжина повносоставного вантажного поїзда складає 58 умовних вагонів. Тому подальші розрахунки витрат та доходів наведені саме для вантажних поїздів довжиною 58 ум. ваг.

На рис. 5 наведені залежності питомих експлуатаційних витрат на 1 вантажний поїзд, сталою умовною довжиною, від характеру та розмірів поїздопотоку дільниці Синельникове – Красноармійськ. На його основі можна зробити висновок, що питомі експлуатаційні витрати на 1 поїзд, який слідує по двоколінійній дільниці, найменші при середньодобових розмірах руху в 40–50 вантажних поїздів. При менших розмірах руху питомі експлуатаційні витрати підвищуються за рахунок постійних витрат на утримання залізничної інфраструктури та організацію роботи залізничних станцій дільниці. А при підвищенні розмірів руху з'являються додаткові простой вантажних поїздів в очікуванні виконання технологічних операцій та «нитки» у графіку руху поїздів.



ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Таблиця 3

## Розрахунок експлуатаційних витрат по дільницях залізничного полігону

Table 3

## Calculation of operating costs for railway stations polygon

Експлуатаційні витрати при умовній довжині  $m=58$  ум.ваг, Е грн.

Дільниці пропуску поїздів	Розміри руху поїздів на дільницях N, поїздів			
	Одноколіїні ділянки			
	10	15	20	25
Кривий Ріг – Верхівцеве	102 177,00	143 554,28	189 379,68	246 702,36
Апостолове – НДВ	703 472,16	949 957,73	1 272 475,04	1 698 606,32
НДВ – Павлоград	63 437,73	86 086,23	110 399,98	139 221,49
Павлоград – Красноармійськ	88 772,06	120 701,33	2	195 475,92
	Двоколіїні			
	10,00	20,00	30,00	40,00
Верхівцеве – НДВ	113 192,58	200 731,98	281 004,57	363 042,99
Кривий Ріг – Запоріжжя Лівє	139 691,04	256 897,90	370 079,50	490 389,19
НДВ – Синельникове	46 653,96	93 177,52	139 701,08	186 224,65
Запоріжжя-Лівє – Синельникове	58 631,79	106 498,96	152 374,56	201 227,43
Синельникове – Павлоград	31 629,70	63 298,65	102 636,21	150 266,74
Синельникове-Красноармійськ	171 196,88	303 370,18	424 426,95	548 299,68

Закінчення табл. 3

End of Table 3

Експлуатаційні витрати при умовній довжині  $m=58$  ум.ваг, Е грн.

Дільниці пропуску поїздів	Розміри руху поїздів на дільницях N, поїздів		
	Одноколіїні ділянки		
	30	35	40
Кривий Ріг – Верхівцеве	328 716,97	470 726,33	822 061,01
Апостолове – НДВ	2 266 272,33	3 027 727,73	4 055 145,46
НДВ – Павлоград	177 308,06	236 209,84	356 769,94
Павлоград – Красноармійськ	249 113,67	331 576,91	495 939,46
	Двоколіїні		
	50,00	60,00	70,00
Верхівцеве – НДВ	454 161,53	563 398,50	705 716,90
Кривий Ріг – Запоріжжя Лівє	629 587,47	806 375,13	1 060 154,82
НДВ – Синельникове	232 748,21	279 271,69	325 795,33
Запоріжжя-Лівє – Синельникове	258 163,22	331 345,71	438 320,93
Синельникове – Павлоград	206 927,45	273 390,27	350 449,14
Синельникове-Красноармійськ	686 313,71	852 521,06	1 070 258,98

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Таблиця 4

Розрахунок доходів залізниці від зміни обсягів пропуску вантажних поїздів за ділянками пропуску

Table 4

Calculation of railway incomes from change of freight trains handling volumes on sections of train handling

Доходи залізниці від пропуску вантажних поїздів умовної довжини $m=58$ ум.ваг, Д грн					
Ділянки пропуску поїздів	Довжина ділянки L, км	Середня вага поїзда брутто Q, т	Розміри руху поїздів на ділянках N, поїздів		
			Одноколіїні ділянки		
			10	15	20
КР – Верх	97	4 383	286 126,6	429 189,9	572 253,3
Апост – НДВ	170	4 077	466 449,6	699 674,4	932 899,1
НДВ – Павл	73,2	5 247	258 486,1	387 729,2	516 972,2
Павл – Красноарм	114,1	5 154	395 772,1	593 658,1	791 544,1
			Двоколіїні		
			10	20	30
Верх – НДВ	82,7	4 894	272 385,9	544 771,7	817 157,5
КР – Зап Лівє	178	4 392	526 135,3	1 052 270,5	1 578 405,7

Продовження табл. 4

Continuation of Table 4

Доходи залізниці від пропуску вантажних поїздів умовної довжини $m=58$ ум.ваг, Д грн						
Ділянки пропуску поїздів Довжина ділянки L, км Середня вага поїзда брутто Q, т	Розміри руху поїздів на ділянках N, поїздів					
	Двоколіїні					
	10	20	30			
НДВ – Синельн	35,9	4 659	112 564,7	225 129,4	337 694,1	
Зап Лівє – Синельн	67	4 473	201 692,1	403 384,1	605 076,1	
Синельн – Павл	38,7	4 521	117 749,9	235 499,8	353 249,7	
Синельн-Красноарм	155,4	4 716	493 219,1	986 438,2	1 479 657,3	
			Одноколіїні ділянки			
			25	30	35	40
КР – Верх	97	4 383	715 316,6	858 379,9	1 001 443,2	1 144 506,5
Апост – НДВ	170	4 077	1 166 123,9	1 399 348,7	1 632 573,5	1 865 798,3
НДВ – Павл	73,2	5 247	646 215,3	775 458,3	904 701,4	1 033 944,4
Павл – Красноарм	114,1	5 154	989 430,1	1 187 316,2	1 385 202,2	1 583 088,2
			Двоколіїні			
			40	50	60	70
Верх – НДВ	82,7	4 894	1 089 543,4	1 361 929,2	1 634 315,1	1 906 700,9

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Закінчення табл. 4

End of Table 4

Доходи залізниці від пропуску вантажних поїздів умовної довжини $m=58$ ум.ваг, Д грн						
Дільниці пропуску поїздів Довжина дільниці L, км Середня вага поїзда брутто Q, т			Розміри руху поїздів на дільницях N, поїздів			
Двоколійні						
			40	50	60	70
КР – Зап Лівє	178	4 392	2 104 541,0	2 630 676,2	3 156 811,5	3 682 946,7
НДВ – Синельн	35,9	4 659	450 258,8	562 823,5	675 388,2	787 952,9
Зап Лівє – Синельн	67	4 473	806 768,2	1 008 460,2	1 210 152,3	1 411 844,3
Синельн – Павл	38,7	4 521	470 999,6	588 749,5	706 499,4	824 249,3
Синельн-Красноарм	155,4	4 716	1 972 876,4	2 466 095,4	2 959 314,5	3 452 533,6

Загальні розрахунки експлуатаційних витрат виконані у вигляді табл. 3. Для одноколійних дільниць було досліджено витрати пропуску мінімально – 10, максимально – 40 поїздів за добу, з кроком у 5 поїздів, на двоколійних – мінімально – 10, максимально – 70, з кроком у 10 поїздів. Аналогічно виконані розрахунки доходів від перевезень (табл. 4) та визначений загальний прибуток залізниці від пропуску вантажних поїздів на залізничному полігоні (табл. 5, рис. 6, 7).

Виходячи з табл. 4 видно, що максимальний дохід отримує залізниця під час здійснення вантажних перевезень на дільницях Апостолове – Нижньодніпровськ Вузол (серед одноколійних дільниць) та Кривий Ріг – Запоріжжя Лівє

і Синельникове – Красноармійськ (серед двоколійних дільниць) полігону, що пояснюється довжиною цих дільниць.

За даними табл. 5 можна зробити висновок, що пропуск вантажних поїздів на дільниці Апостолове – НДВ з тепловозною тягою є нерентабельним (рис. 6).

Це зумовлене, в першу чергу, різницею витрат на паливо-мастильні матеріали для електровозів та тепловозів вантажного руху, а оскільки у структурі загальних експлуатаційних витрат значну частину (до 90 %) складають саме витрати на паливо, то різниця між експлуатаційними витратами по дільницях з подібними характеристиками досягає 300–500 %.

Таблица 5

**Розрахунок загального прибутку залізниці від зміни обсягів пропуску вантажних поїздів за дільницями пропуску**

Table 5

**The total income calculation of railway from change of freight trains handling volumes on sections of train handling**

Прибуток залізниці від пропуску вантажних поїздів, П грн				
Дільниці пропуску поїздів	Розміри руху поїздів на дільницях N, поїздів			
	Одноколійні ділянки			
	10	15	20	25
Кривий Ріг – Верхівцеве	183 950	285 636	382 874	468 614
Апостолове – НДВ	-237 023	-250 283	-339 576	-532 482
НДВ – Павлоград	195 048	301 643	406 572	506 994

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Продовження табл. 5  
Continuation of table 5

Прибуток залізниці від пропуску вантажних поїздів, П грн				
Дільниці пропуску поїздів	Розміри руху поїздів на дільницях N, поїздів			
	Одноколіїні ділянки			
	10	15	20	25
Павлоград – Красноармійськ	307 000	472 957	636 642	793 954
	Двоколіїні			
	10	20	30	40
Верхівцеве -НДВ	159 193	344 040	536 153	726 500
Кривий Ріг – Запоріжжя Лівє	386 444	795 373	1 208 326	1 614 152
НДВ – Синельникове	65 911	131 952	197 993	264 034
Запоріжжя – Лівє – Синельникове	143 060	296 885	452 702	605 541
Синельникове – Павлоград	86 120	172 201	250 613	320 733
Синельникове – Красноармійськ	322 022	683 068	1 055 230	1 424 577

Закінчення табл. 5

End of Table 5

Прибуток залізниці від пропуску вантажних поїздів, П грн			
Дільниці пропуску поїздів	Розміри руху поїздів на дільницях N, поїздів		
	Одноколіїні ділянки		
	30	35	40
Кривий Ріг – Верхівцеве	529 663	530 717	322 445
Апостолове – НДВ	-866 924	-1 395 154	-2 189 347
НДВ – Павлоград	598 150	668 492	677 174
Павлоград – Красноармійськ	938 202	1 053 625	1 087 149
	Двоколіїні		
	50	60	70
Верхівцеве -НДВ	907 768	1 070 917	1 200 984
Кривий Ріг – Запоріжжя Лівє	2 001 089	2 350 436	2 622 792
НДВ – Синельникове	330 075	396 117	462 158
Запоріжжя – Лівє – Синельникове	750 297	878 807	973 523
Синельникове – Павлоград	381 822	433 109	473 800
Синельникове – Красноармійськ	1 779 782	2 106 793	2 382 275

Тому введення електрифікації на дільницях, зі значними розмірами вантажного руху, є одним з пріоритетних шляхів розвитку залізниць.

Для інших одноколіїнних ділянок існує тен-

денція підвищення прибутку при зростанні кількості вантажних поїздів до 30 (рис. 6). При подальшому зростанні обсягів перевезень з'являться додаткові простой, які суттєво впли-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ватимуть на експлуатаційні витрати та безпосередньо на скорочення прибутку залізниць.

Загальний прибуток залізниці від експлуатації двоколієних ділянок змінюється майже прямо пропорційно кількості вантажних поїздів, що пропускаються. Але під час пропуску 70 поїздів відзначається невелике падіння прибутку, що свідчить про оптимальне завантаження цієї ділянки з урахуванням наявної пропускної спроможності (рис. 7).

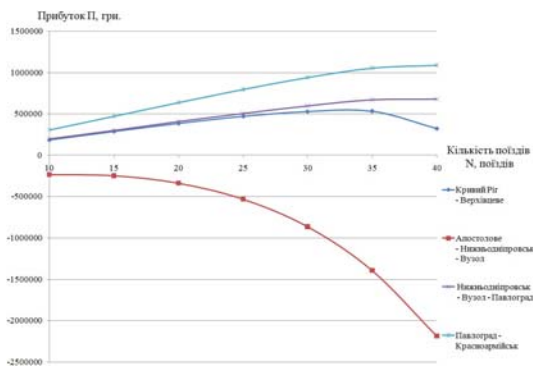


Рис. 6. Графік залежності прибутку залізниці від зміни обсягів пропуску вантажних поїздів на одноколієних ділянках руху

Fig. 6. Graph of profits dependence from change of freight trains handling volumes on single track motion sections

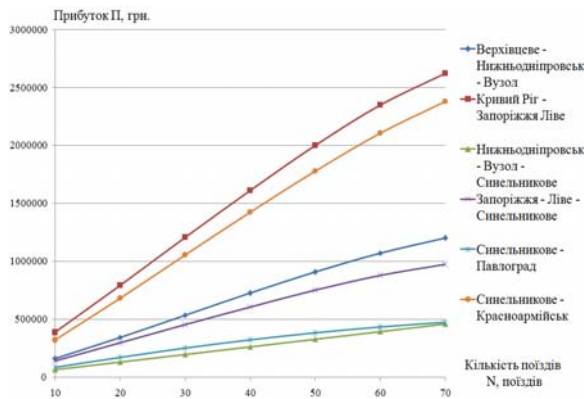


Рис. 7. Графік залежності прибутку залізниці від зміни обсягів пропуску вантажних поїздів на двоколієних ділянках руху

Fig. 7. Graph of profit dependence from change of freight trains handling volumes on double-track motion sections

Отримані результати загального прибутку залізниці не можуть достовірно характеризува-

ти рентабельність окремої ділянки стосовно інших, оскільки кожна ділянка має різну експлуатаційну довжину. А, враховуючи реструктуризацію залізничного транспорту, метою якого є підвищення інвестиційної привабливості галузі [12], з'являється необхідність у адекватній оцінці прибутковості окремих ділянок. Тому для кожної ділянки була розрахована питома ставка прибутку на 1 км експлуатаційної довжини ділянки залежно від середньодобового розміру поїздопотоків (табл. 6) та наведений графічний аналіз отриманих результатів окремо по одноколієних та двоколієних ділянках (рис. 8 та 9).

Згідно з рис. 8 серед одноколієних ділянок найприбутковішими є ділянки: Павлоград – Красноармійськ та Нижньодніпровськ-Вузол – Павлоград, що зумовлене використанням електричної тяги та сприятливим поздовжнім профілем колії, що дає можливість пропускати великовагові поїзди без використання підштовхувачів або використання подвійної тяги.

В свою чергу, ділянка Апостолове – Нижньодніпровськ-Вузол при будь-яких розмірах руху приносить стабільний збиток, тому пропуск вантажних поїздів по цій ділянці рекомендується виконувати тільки у форс мажорних обставинах (тимчасові обмеження на мережі, пропуск термінових та стратегічно важливих вантажів і т.п.).

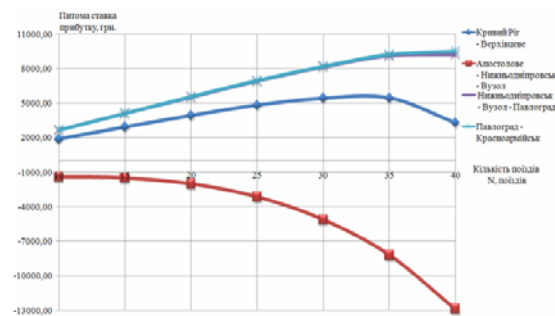


Рис. 8. Залежність питомої ставки прибутку залізниці залежно від зміни обсягів перевезень, віднесеної до 1 км. експлуатаційної довжини одноколієних ділянок

Fig. 8. Dependence of specific rates of railroad profit depending on changes in volumes of transportation, referred to 1 km. operational length of a single-track sections

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

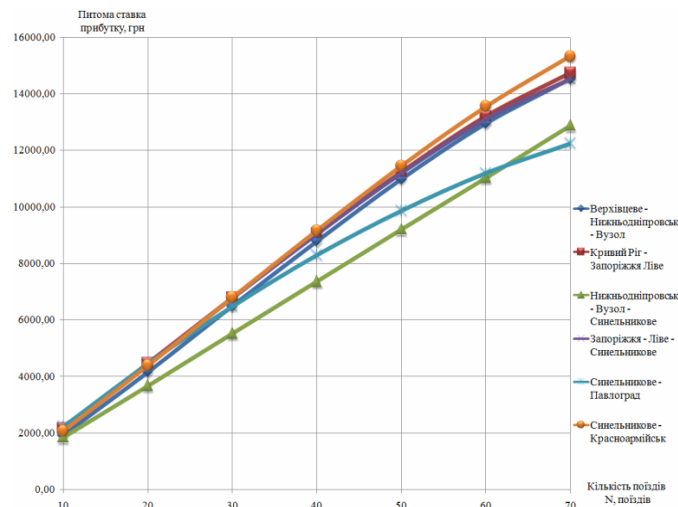


Рис. 9. Залежність питомої ставки прибутку залізниці залежно від зміни обсягів перевезень, віднесеної до 1 км експлуатаційної довжини двоколієних ділянок

Fig. 9. Dependence of specific rates of railroad profit depending on changes in volumes of transportation, referred to 1 km double-track length of operational sections

Серед двоколієних ділянок найприбутковішою є ділянка: Синельникове – Красноармійськ, але інші двоколієні ланки залізничного полігону майже не поступаються їй у прибут-

ковості. Цей факт пояснюється схожими технічними характеристиками усіх двоколієних ділянок та, в першу чергу, використанням електричної енергії виду тяги.

Таблиця 6

**Розрахунок питомої ставки прибутку на 1 км експлуатаційної довжини ділянок пропуску поїздів залежно від зміни обсягів перевезень**

Table 6

**Calculation of the specific profit rates at 1 km of operational length of the train handling sections, depending on transportation volumes changes**

Питома ставка прибутку на 1 км експлуатаційної довжини ділянки, С грн					
Ділянки пропуску поїздів	Довжина ділянки L, км	Розміри руху поїздів на ділянках N, поїздів			
		Одноколієні ділянки			
		10	15	20	25
Кривий Ріг – Верхівцеве	97	1 896,39	2 944,70	3 947,15	4 831,07
Апостолове – НДВ	170	-1 394,25	-1 472,26	-1 997,51	-3 132,25
НДВ – Павлоград	73,2	2 664,60	4 120,81	5 554,27	6 926,14
Павлоград – Красноармійськ	114,1	2 690,62	4 145,11	5 579,69	6 958,41
		Двоколієні			
		10	20	30	40
Верхівцеве -НДВ	82,7	1 924,95	4 160,09	6 483,11	8 784,77

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Продовження табл. 6  
Continuation of table 6

Питома ставка прибутку на 1 км експлуатаційної довжини ділянки, С грн					
Дільниці пропуску поїздів	Довжина дільниці L, км	Розміри руху поїздів на дільницях N, поїздів			
		Двоколійні			
		10	20	30	40
Кривий Ріг – Запоріжжя Ліве	178	2 171,03	4 468,39	6 788,35	9 068,27
НДВ – Синельникове	35,9	1 835,95	3 675,54	5 515,13	7 354,71
Запоріжжя – Ліве – Синельникове	67	2 135,23	4 431,12	6 756,74	9 037,92
Синельникове – Павлоград	38,7	2 225,33	4 449,64	6 475,80	8 287,67
Синельникове – Красноармійськ	155,4	2 072,21	4 395,55	6 790,41	9 167,16

Закінчення табл. 6  
End of Table 6

Питома ставка прибутку на 1 км експлуатаційної довжини ділянки, С грн				
Дільниці пропуску поїздів	Довжина дільниці L, км	Розміри руху поїздів на дільницях N, поїздів		
		Одноколійні ділянки		
		30	35	40
Кривий Ріг – Верхівцеве	97	5 460,44	5 471,31	3 324,18
Апостолове – НДВ	170	-5 099,55	-8 206,79	-12 878,51
НДВ – Павлоград	73,2	8 171,45	9 132,40	9 251,02
Павлоград – Красноармійськ	114,1	8 222,63	9 234,23	9 528,03
		Двоколійні		
		50	60	70
Верхівцеве -НДВ	82,7	10 976,63	12 949,41	14 522,18
Кривий Ріг – Запоріжжя Ліве	178	11 242,07	13 204,70	14 734,79
НДВ – Синельникове	35,9	9 194,30	11 033,89	12 873,47
Запоріжжя – Ліве – Синельникове	67	11 198,46	13 116,52	14 530,20
Синельникове – Павлоград	38,7	9 866,20	11 191,45	12 242,90
Синельникове – Красноармійськ	155,4	11 452,91	13 557,23	15 329,95

**Наукова новизна та практична значимість**

У роботі розроблені імітаційні моделі окремих дільниць реального залізничного полігону Придніпровської залізниці з урахуванням особливостей кожного залізничного перегону та

шляхом моделювання визначені залежності між основними параметрами поїздопотоків по кожній дільниці. Використання розроблених імітаційних моделей дозволить аналітичним шляхом розрахувати економічний ефект від збільшення добового поїздопотоків та допоможе визначити

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

фактори, які впливають на прибуток залізниці по окремих дільницях пропуску поїздів шляхом визначення питомої ставки прибутку.

Удосконалена технологія визначення загального прибутку залізниць на основі змінних параметрів поїздопотоків.

Вперше визначена та запропонована у використанні для визначення інвестиційної привабливості залізниць питома ставка прибутку на 1 км експлуатаційної довжини дільниці залежно від середньодобових розмірів руху.

## Висновки

У роботі було виконано розрахунок загального прибутку залізниці шляхом визначення різниці між доходами та експлуатаційними витратами по дільницях. На основі отриманих даних було виконано аналіз зміни прибутку залежно від зміни обсягів пропуску вантажних поїздів при сталих значеннях середньої ваги поїзда брутто та умовної довжини поїздів, що обертаються по дільницях полігону, та отримана питома ставка прибутку на 1 км експлуатаційної довжини дільниць. В результаті дослідження встановлено, що оптимальним є пропуск вантажних поїздів довжиною 53–56 умовних вагона, а завантаження дільниці повинно складати 75–85 % від наявної пропускнуої спроможності для максимізації загального прибутку Придніпровської залізниці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аністратенко, В. О. Математичне планування експериментів в АПК : навч. посібн. / В. О. Аністратенко, В. Г. Федоров. – Київ : Вища шк., 1993. – 375 с.
2. Відомість вагових норм і довжини поїздів по дільницях Придніпровської залізниці (до графіка руху поїздів на 2014–2015 рр.). Додаток до наказу начальника Придніпровської залізниці від 14.06.2014 р. №358/4. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 4–18.
3. Залізничний портал Донецької залізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://railway.in.ua/news/ukrзалізниця\\_perevezla\\_v\\_2014\\_godu\\_pochti\\_390 mln\\_tonn\\_gruzov/2015-02-20-1754](http://railway.in.ua/news/ukrзалізниця_perevezla_v_2014_godu_pochti_390 mln_tonn_gruzov/2015-02-20-1754). – Назва з екрана. – Перевірено : 22.05.2015.
4. Інструкція про порядок розподілу та формування доходів від перевезень для залізниць України. ЦФ–0007 : затв. наказом Укрзалізниці від 14.05.1997 р. № 109-Ц // Головне фінансово-економічне управління Укрзалізниці. – Київ, 1997. – С. 28–34.
5. Козаченко, Д. М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич // Вост.-европ. журн. передових техн. – 2010. – Т. 3. – Вип. 5 (45). – С. 17–21.
6. Кочнев, Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог : учеб. пособие для вузов / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – Москва : Транспорт, 1990. – 424 с.
7. Лукова, М. В. Створення центрів руху поїздів як засіб оптимізації витрат / М. В. Лукова, О. В. Пилипенко // Заліз. трансп. : сучасні проблеми науки : зб. тез XLIII наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. – Київ : ДЕДУТ, 2013. – С. 108–109.
8. Методика розрахунку норм витрат дизельного палива і електроенергії на тягу поїздів : ЦТ-0099 : затв. наказом Укрзалізниці від 09.06.2004 р. № 113-Ц // Держ. адмін. заліз. трансп. України. – Київ : Укрзалізниця, 2004. – 60 с.
9. Мозолевич, Г. Я. Математична модель вибору раціональних варіантів пропуску поїздопотоків по залізничній мережі / Г. Я. Мозолевич, Ю. В. Чібісов // Вост.-европ. журн. передових техн. – 2012. – Т. 3. – Вип. 11 (57). – С. 37–41.
10. Mozolevich, G. Ya. Operational distribution of the train traffic volume on the sections of railway operating domain / G. Ya. Mozolevich // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 5 (47). – С. 33–39. doi: 10.15802/stp2013/17964.
11. Практичні рекомендації з технологічно-економічного управління експлуатаційною роботою залізниць : ЦД-0068 : затв. : наказом Укрзалізниці від 05.08.2008 р. № 128/3 // Гол. управл. перевезень. – Київ, 2006. – С. 10–51.
12. Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки : постановою КМУ № 1390 від 16.12.2009 р. – Київ, 2012. – 3 с.
13. Cantos, P. Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector and its Effects on Productivity / P. Cantos, J. M. Pastor, L. Serrano // J. of Transport Economics and Policy. – 2010. – № 3. – P. 45–53.



## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

14. D’Ariano, A. Improving Real-Time Train Dispatching: Models, Algorithms and Applications / A. D’Ariano // Transport, Infra-structure and Logistics. – Delft, Netherlands : Netherlands TRAIL Research School, 2008. – 230 p.
15. Fay, A. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control / A. Fray // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – Heidelberg, 2000. – Vol. 13. – Iss. 6. – P. 719–729. doi: 10.1016/s0952-1976(00)00027-0.

Г. Я. МОЗОЛЕВИЧ<sup>1\*</sup>, А. В. ТРОЯН<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 12, эл. почта MrMozG81@mail.ru, ORCID 0000-0002-4715-1645

<sup>2\*</sup> ГП «Приднепровская железная дорога», просп. Карла Маркса, 108, Днепропетровск, Украина, 49602, тел. +38 (056) 793 27 63, эл. почта trojan\_andrey@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5133-5201

## ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЕЗДОПОТОКА НА ОБЩУЮ ПРИБЫЛЬ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

**Цель.** Работа направлена на анализ влияния таких параметров, как количество поездов на участке и длина грузового поезда, на общий доход железной дороги и определение общей прибыли Приднепровской железной дороги по основным участкам пропуска поездов. Необходимым является также определение удельной ставки прибыли на 1 километр эксплуатационной длины каждого отдельного звена железнодорожной сети. **Методика.** Для достижения поставленной цели были разработаны имитационные модели участков железнодорожного полигона и проведено моделирование пропуска грузовых поездов. На основе полученных результатов определены зависимости основных параметров поездопотока и их влияние на общую прибыль железной дороги. **Результаты.** На основе проведенных исследований, для определения оптимальных маршрутов пропуска поездов и выбора рациональных параметров поездопотоков, разработаны функции эксплуатационных затрат по каждому участку. С их помощью рассчитаны эксплуатационные затраты, доход, общая прибыль железной дороги и определено влияние параметров поездопотока на экономические показатели работы железнодорожного транспорта. Определено, что оптимальным является пропуск грузовых поездов длиной 53–56 условных вагонов, а загрузка участка должна составлять 75–85 % от имеющейся пропускной способности. Учитывая полученные результаты, приоритетным развитием железнодорожного транспорта в период вероятного роста размеров движения поездов является электрификация участков с тепловозной тягой (в связи со значительной стоимостью дизельного топлива). **Научная новизна.** Авторами была усовершенствована технология определения общей прибыли железных дорог на основании переменных параметров поездопотоков. Впервые определена и предложена для использования при определении инвестиционной привлекательности железных дорог удельная ставка прибыли на 1 километр эксплуатационной длины участка в зависимости от среднесуточных размеров движения. Разработаны имитационные модели отдельных участков реального железнодорожного полигона Приднепровской железной дороги. **Практическая значимость.** Использование разработанных имитационных моделей позволит аналитическим путем рассчитать экономический эффект от увеличения суточного поездопотока. Внедрение моделей также поможет выделить факторы, которые влияют на прибыль железной дороги по отдельным участкам пропуска поездов путем определения удельной ставки прибыли.

**Ключевые слова:** железнодорожный полигон; поездопоток; имитационное моделирование; эксплуатационные расходы; общая прибыль железных дорог; удельная ставка прибыли

Н. YA. MOZOLEVICH<sup>1\*</sup>, A. V. TROIAN<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Dep. «Stations and Junctions», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 12, e-mail MrMozG81@mail.ru, ORCID 0000-0002-4715-1645

<sup>2\*</sup> SE «Prydniprovsk Railway», Karl Marx Av., 108, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49602, tel. +38 (056) 793 27 63, e-mail trojan\_andrey@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5133-5201

## THE INFLUENCE OF THE MAIN PARAMETERS OF TRAIN TRAFFIC VOLUME ON TOTAL PROFITS OF RAILWAYS

**Purpose.** The paper is aimed to influence analysis of parameters such as the number of trains on the section and the length of freight trains, the total profit of the railway and determination of total profit of Prydniprovsk railway for major parts of the trains handling; the determination of the specific rate of return on 1 kilometer operational length of each individual link in the rail network. **Methodology.** To achieve this goal the simulation models of the sections of railway polygon and the simulation of cargo trains have been developed. On the basis of obtained results the dependence of the main parameters of train traffic and their impact on the overall profit of the railway was determined. **Findings.** On the basis of the conducted studies the functions operating costs for each section were developed to determine the optimal routes crossing of trains and choice of rational parameters. The operating costs, revenue, total profit of railways and certain impact parameters of train traffic volume on the economic performance of railway transport were calculated with their help. It is determined that freight trains, length 53-56 of a conventional car is optimal to pass and loading area should be 75-85% of the available crossing capacity. Taking into account given results, the electrification of the sections with diesel traction (due to the significant cost of diesel fuel) is the priority development of railway transport at the possible increase in size of the movement. **Originality.** Authors have improved the technology of determining the total profits of railways on the basis of variables train traffic volumes. For the first time the specific rate of profit on the 1 kilometer operational length of the section depending on the size of the average daily traffic is identified and proposed to use to determine the investment attractiveness of the railways. The simulation models of individual sections of the real train polygon at Prydniprovsk railway were developed. **Practical value.** Using the developed simulation models will allow calculating the economic benefits from increased daily train traffic volume in analytical way. Implementation of models will help to identify factors that affect the railway profit on separate sections of the trains crossing by determining the specific rate of profit.

**Keywords:** train polygon; train traffic volume; simulation; operating expenses; total profit of railways; the specific rate of profit

### REFERENCES

1. Anistratenko V.O., Fedorov V.H. *Matematychnye planuvannia eksperymentiv v APK* [Mathematical planning of experiments in agriculture]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 1993. 375 p.
2. *Vidomist vakhovykh norm i dovezhyny poizdiv po dilnytsiakh Prydniprovskoi zaliznytsi (do hrafika rukhu poizdiv na 2014-2015 rr.)* [Statement of weight limits and length of trains on sections of Prydniprovsk Railways (under train schedule for 2014-2015 yy.)]. Dnipropetrovsk, 2014, pp. 4-18.
3. *Zaliznychnyi portal Donetskoï zaliznytsi* [Railway Portal of Donetsk Railway]. Available at: [http://railway.in.ua/news/ukrzaliznycja\\_perevezla\\_v\\_2014\\_godu\\_pochti\\_390\\_mln\\_tonn\\_gruzov/2015-02-20-1754](http://railway.in.ua/news/ukrzaliznycja_perevezla_v_2014_godu_pochti_390_mln_tonn_gruzov/2015-02-20-1754) (Accessed: 22.05.2015).
4. *Instruktsiia pro poriadok rozpodilu ta formuvannia dokhodiv vid perevezhen dlia zaliznyts Ukrainy. TsF-0007* [The instruction on the procedure of distribution and generate income from traffic to the Railways of Ukraine. TsP-0007]. Kyiv, 1997, pp. 28-34.
5. Kozachenko D.M., Mozolevych H.Ya. *Doslidzhennia parametriv potokiv poizdiv na zaliznychnykh napriamkakh* [Investigation of the parameters of trains flow on railway lines]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – East European Journal of Advanced Technologies*, 2010, vol. 3, issue 5 (45), pp. 17-21.
6. Kochnev F.P., Sotnikov I.B. *Upravleniye ekspluatatsionnoy rabotoy zheleznykh dorog* [Management of the operational work of the railways]. Moscow, Transport Publ., 1990. 424 p.
7. Lukova M.V., Pylypenko O.V. *Stvorennia tsentriv rukhu poizdiv yak zasib optymizatsii vytrat* [The creation of centres of trains as a means of cost optimization]. *Zbirnyk Tez XLIII naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantiv i studentiv Zaliznychnyi transport «Suchasni problemy nauky»* [Proc. of XLIII Scientific-Practical Conf. of Young Scientists, Postgraduates and Students. Railway Transport «Modern Problems of Science»]. Kyiv, 2013, pp. 108-109.
8. *Metodyka rozrakhunku norm vytrat dyzelnoho palyva i elektroenerhii na tiahu poizdiv TsT-0099* [The method of calculation of the consumption of diesel fuel and electric power for traction of trains TsT-0099]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2004. 60 p.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Mozolevych H.Ya., Chibisov Yu.V. *Matematychna model vyboru ratsionalnykh variantiv propusku poїzdopotokiv po zaliznychnii mrezi* [A mathematical model of rational choice variants of passing the train flows on the rail network]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – East European Journal of Advanced Technologies*. Kyiv, 2012, vol., 3, issue 11 (57), pp. 37-41.
10. Mozolevych G.Ya. Operational distribution of the train traffic volume on the sections of railway operating domain. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, issue 5 (47), pp. 33-39. doi: 10.15802/stp2013/17964.
11. *Pro zatverdzhennia Derzhavnoi tsilovoi prohramy reformuvannia zaliznychnoho transportu na 2010-2019 roky* [On endorsement of State target program of railway transport reforming for the period 2010-2019]. Kyiv, 2012. 3 p.
12. *Praktychni rekomendatsii z tekhnoloho-ekonomichnoho upravlinnia ekspluatatsiinoiu robotoiu zaliznyts. TsD-0068* [Practical recommendations on technological and economic management of the railways operational work. TsD-0068]. Kyiv, 2006, pp. 10-51.
13. Cantos P., Pastor J.M., Serrano L. Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector and its Effects on Productivity. *Journal of Transport Economics and Policy*, 2010, no. 3, pp. 45-53.
14. D’Ariano A. Improving Real-Time Train Dispatching: Models, Algorithms and Applications. Transport, Infrastructure and Logistics. Delft, Netherlands, Netherlands TRAIL Research School Publ., 2008. 230 p.
15. Fay A. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2000. vol. 13, issue 6, pp. 719-729. doi: 10.1016/s0952-1976(00)00027-0.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. І. Бобровським (Україна); д.т.н., проф. Є. С. Альошинським (Україна)*

Поступила в редколлегию 24.02.2015

Принята к печати 22.04.2015