

УДК 656.2

Г. Я. МОЗОЛЕВИЧ, Кандидат технічних наук, доцент кафедри «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ПОТОКІВ ПОЇЗДІВ ПО ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОЛІГОНУ

У статті виконані дослідження впливу розподілу потоків поїздів по ланкам залізничного полігону на економічні показники, формалізована та вирішена задача вибору маршрутів пропуску поїздопотоків. Рис.:8. Бібліогр. 6.

Ключові слова: розподіл потоків, прибуток залізниць, вибір маршрутів, задача оптимізації, залізний полігон.

Вступ

В умовах розвитку транспортного ринку держави ключовими питаннями для системи перевезень є своєчасне забезпечення вагонами необхідного типу усіх відправників вантажу відповідно до заявок, удосконалення тарифної політики, удосконалення організаційної структури управління залізничним транспортом, технології перевізного процесу й організації поїзної роботи на основі широкого впровадження автоматизованих систем управління, автоматизації диспетчерського контролю просування поїздів. В таких умовах необхідністю постає перехід до фінансової моделі управління залізничним транспортом.

Формування прибуткового механізму в сфері перевезень передбачає мінімізацію їх собівартості. Це вимагає освоєння не тільки нових

технологій, але і нових підходів до організації вагонопотоків, а також удосконалення оперативного управління і регулювання, організації тягового обслуговування поїздів, застосування ефективних технологій, що відповідають умовам ринкового середовища. Найбільший ефект від реалізації всіх складових організації перевізного процесу може бути досягнутий за умови централізованого управління перевезеннями з єдиного центру [1]. Однією із основних актуальних задач центру може бути оперативний розподіл потоків по ланкам розвинутої залізничної мережі.

Задача вибору раціонального розподілу потоків по ланкам мережі є оптимізаційною, вирішенням якої присвячено значна кількість наукових праць [2-4]. Цю задачу вирішували вчені в умовах руху по мережі неподільних елементів (рідина, газ тощо) та окремих одиниць потоку (поїздів, автомобілів). В даній статті запропоновано вирішення цієї задачі в умовах зацікавленості власників окремих ланок мережі.

Постановка задачі

Нехай є деяка мережа, що складає з n ланок, що сполучені у вузлах. У мережі є джерело потоку S та стік t . Кожна з ланок мережі має свій набір характеристик, що впливає на деякий показник оптимізації в залежності від обсягу потоку, що пропускається по ній. Ланки мережі належать різним власникам. Необхідно визначити маршрути потоків по ланкам мережі, при яких показник оптимізації буде максимальним (мінімальним) як для всієї мережі в цілому, так і для будь-якого співвідношення інтересів власників мережі.

Для рішення задачі обрано залізничний полігон, що поєднує промислові регіони Криворіжжя та Донбасу. На рис. 1 наведено ланки мережі, що можуть бути використані для пропуску поїздів. В якості

показнику оптимізації обрано прибуток від перевезення поїздопотоків Придніпровської та Донецької залізниць.

Вирішення задачі

Для визначення раціональних маршрутів пропуску поїздів на залізничному полігоні з метою максимізації прибутку залізниць необхідно визначити функції прибутку по кожній ділянці окремо.

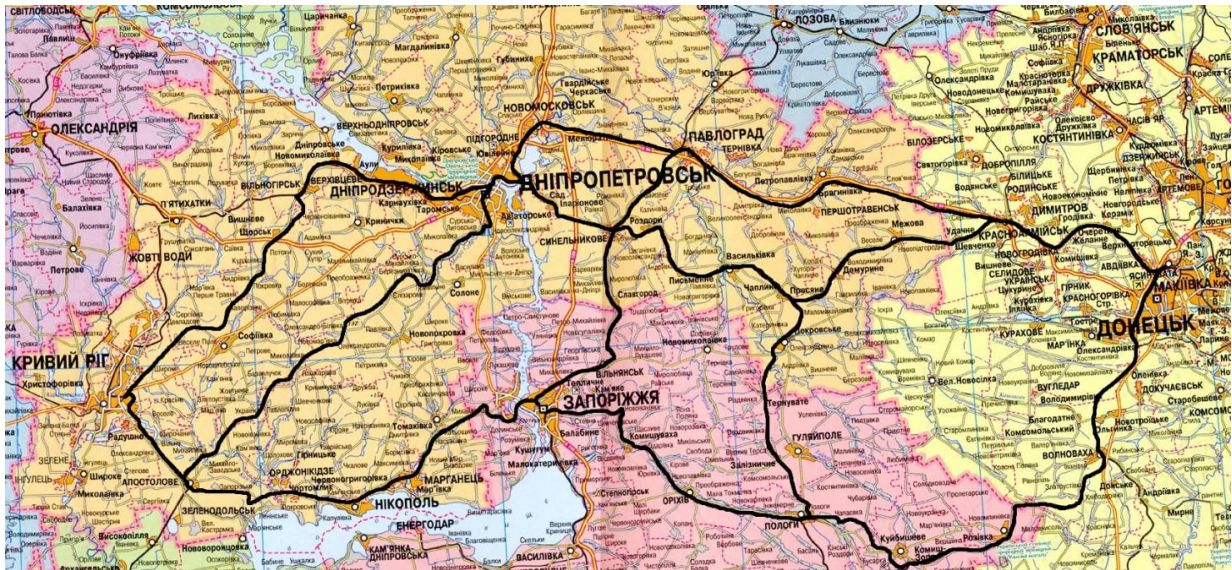


Рис. 1 - Залізничні шляхи сполучення між сортувальними станціями Кривий Ріг Сортувальний та Яснувата

Прибуток залізниць при пропуску поїздів за маршрутами слідування можна визначити за формулою

$$П_{зал} = \sum_{i=1}^n D_i - \sum_{i=1}^n E_i \quad (1)$$

де i – ділянка, що пов’язує вершини мережі;

D_i – дохід залізниці на i -й ділянці від перевезення, грн;

E_i – експлуатаційні витрати залізниць при пропуску поїздів на i -й ділянці, грн.

Дохід залізниць від перевезення визначено за формулою

$$D_i = \frac{C_{10\text{т-км}\bar{б}р} L_{\text{д}\bar{i}l\bar{i}} N_{ni} Q_{\bar{o}p\bar{i}}^{\text{сеп}}}{10}, \quad (2)$$

де $L_{\text{д}\bar{i}l\bar{i}}$ - довжина i -ої дільниці, км;

$C_{10\text{т-км}\bar{б}р}$ - питома доходна ставка на 10 ткм-брутто,

N_{ni} - кількість поїздів на дільниці,

$Q_{\bar{o}p\bar{i}}^{\text{сеп}}$ - середня маса брутто поїзда.

Експлуатаційні витрати складаються з витрат 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 наступний вигляд:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{рух}} + E_{\text{прост}} + E_{\text{ст}} \quad (3)$$

де $E_{\text{рух}}$ – витрати, пов’язані з рухом поїздів на дільниці, грн;

$E_{\text{прост}}$ – витрати, пов’язані з простоєм поїздів на перегонах та станціях з урахуванням витрат на розгін-сповільнення, грн;

$E_{\text{ст}}$ – витрати, пов’язані з обслуговуванням поїздів на технічних станціях, грн.

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

$$E_{\text{рух}} = E_{\text{пал}} + E_{\text{утр}}^{\text{лок}} + E_{\text{утр}}^{\bar{б}р} + E_{\text{утр}}^{\text{ваг}} \quad (4)$$

де $E_{\text{пал}}$ – витрати на паливо-енергетичні ресурси, необхідні для пропуску поїздів, грн;

$E_{\text{утр}}^{\text{лок}}$ - витрати на поточне утримання локомотивів для пропуску заданого вагонопотоку;

$E_{\text{утр}}^{\bar{б}р}$ - витрати на поточне утримання локомотивних бригад, грн;

$E_{\text{утр}}^{\text{ваг}}$ - витрати на поточне утримання вагонного парку, грн.

Витрати на простій поїздів визначено наступним чином

$$E_{\text{прост}} = E_{\text{прост}}^{\text{ваг}} + E_{\text{прост}}^{\text{лок}} + E_{\text{розг-спов}} \quad (5)$$

де $E_{\text{прост}}^{\text{ваг}}$ - витрати на простій вагонів на перегонах та станціях, *грн*;

$E_{\text{прост}}^{\text{лок}}$ - витрати на простій магістральних локомотивів з бригадою, *грн*;

$E_{\text{розг-спов}}$ - витрати на розгін-уповільнення вантажного поїзда, *грн*.

Витрати на обслуговування поїздів визначено за формулою:

$$E_{\text{ст}} = E_{\text{то}} + E_{\text{ст}}^{\text{інфр}} + E_{\text{зміна}}^{\text{бр}} + E_{\text{зміна}}^{\text{лок}} \quad (6)$$

де $E_{\text{то}}$ - витрати, пов'язані з технічним оглядом вагонів на технічних станціях дільниці, *грн*;

$E_{\text{ст}}^{\text{інфр}}$ - витрати на використання станційної інфраструктури, *грн*;

$E_{\text{зміна}}^{\text{бр}}$ - витрати на зміну локомотивних бригад, *грн*;

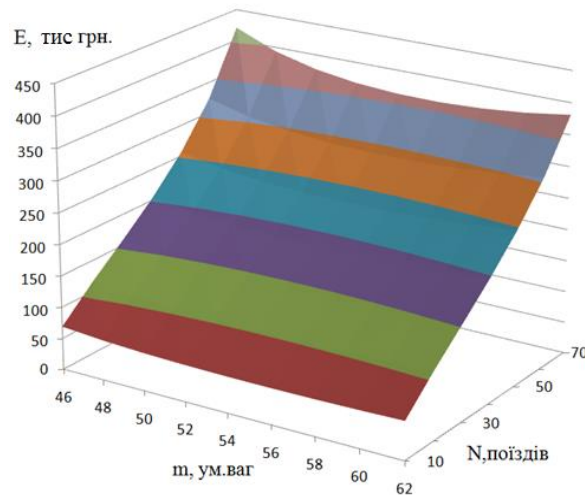
$E_{\text{зміна}}^{\text{лок}}$ - витрати на зміну локомотива, *грн*.

При розрахунках експлуатаційних витрат на просування вагонопотоку слід враховувати те, що дільниці мають різну кількість головних колій та поділяються за видом тяги на електрифіковані та з тепловозною тягою [5].

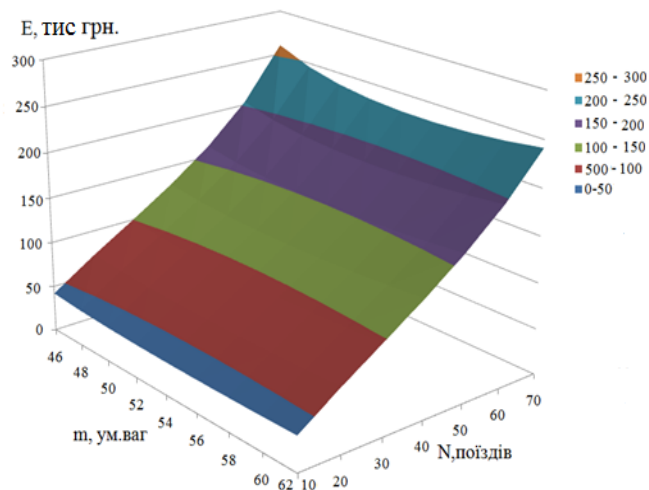
У парному та непарному напрямках витрати на електроенергію (паливо) будуть різні, в залежності від поздовжнього профілю дільниці та маси поїздів, що на ній обертаються, тому для більш точних розрахунків використовуємо значення витрат палива за тяговими розрахунками на дільницях зі змінними: умовною довжиною поїзда та розмірами руху вантажних поїздів на дільниці. На основі отриманих даних отримана функцію залежності витрат палива при зміні параметрів кількості поїздів N_n та умовної довжини составів $m_{\text{ум.ваг}}$.

Для вирішення задачі необхідно врахувати обмеження параметрів поїздопотоків на кожній ділянці полігону. Система обмежень параметрів функції детально описана у [6].

Залежність витрат від кількості поїздів та умовної довжини поїзда у з розподілом по напрямках руху для однієї з ділянок представлена на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2 - Залежність витрат від кількості поїздів та умовної довжини поїзда по напрямкам ділянки: а) непарний; б) парний

На відміну від задач із скалярним критерієм, результатом яких є оптимальна (з точністю до передумов і припущень моделі) стратегія, в

задачах з векторним критерієм виявляється неможливим з абсолютною впевненістю стверджувати, що те чи інше рішення, дійсно (об'єктивно) оптимальне. Одне з рішень може бути краще другого за одними критеріями і поступатися йому за іншими. Сказати, яке з двох рішень в зазначених умовах об'єктивно краще не представляється можливим. Тільки з часом буде ясно, наскільки вірним було прийняте рішення. До реалізації рішення зазвичай використовуються особисті переваги людини, що його приймає (ЛПР). Її досвід та інтуїція є тією основою, яка визначає здатність передбачати наслідки прийнятого компромісу.

Отже, задача визначення раціонального розподілу поїздопотоків на залізничному полігоні розглядається як оптимізаційна задача із двома невідомими – кількістю поїздів N , що слідують по i -й дільниці, та умовною довжиною поїзда m . Критеріями оптимізації виступають прибутки окремих залізниць полігону (Придніпровської та Донецької):

$$\begin{cases} C_1 = \Pi_{np}(N, m) \rightarrow \max \\ C_2 = \Pi_{дон}(N, m) \rightarrow \max \end{cases} \quad (7)$$

де $\Pi_{np}, \Pi_{дон}$ - загальний прибуток Придніпровської та Донецької залізниць від перевезення поїздопотоків.

Вищезазначені прибутки розглядаються як функції двох параметрів N та m при постійних значеннях інших параметрів, таких як: наявна пропускна спроможність N_n , максимальна довжина приймально-відправних колій $l_{кол}$, максимальна маса поїздів на дільницях напрямку при існуючих поїзних локомотивах Q_{max} , m , добовий вантажопотік на напрямку $P_{вант}$, $m/добу$, доля порожнього вагонопотоку в переважно порожньому напрямку $\alpha_{пор}$, обсяги пасажирського руху при літньому та не літньому графіку руху поїздів $N_{пас}$, поїздів/добу, середня тара вагонів, q_m , m , середня вантажопідйомність вагонів, $q_{ваг}$, $m/ваг$, локомотивний парк W_L .

Розв'язок задачі векторної оптимізації полягає у пошуку усіх пар параметрів поїздопотоків, які задовольняють умові (7) при будь якому

співвідношенні витрат між собою $t = \frac{\Pi_{np}}{\Pi_{дон}}$. При двох невідомих значеннях

m та N , вони повинні задовольняти наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi_{np}(N, m)}{\partial N} + t \frac{\partial \Pi_{дон}(N, m)}{\partial N} = 0, \\ \frac{\partial \Pi_{np}(N, m)}{\partial m} + t \frac{\partial \Pi_{дон}(N, m)}{\partial m} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

Розв'язок цієї системи рівнянь для функцій прибутку залізниць із значною кількістю ланок полігону неможливо отримати класичними методами по причині складності функцій. До того ж для мережі полігону (рис 1) має місце близько $1,8 \cdot 10^{14}$ варіантів пропуску поїздів. Тому розв'язок задачі був реалізований на основі методу диференційних витрат при сталих значеннях параметру t . Зміна функції прибутку при різних пріоритетах залізниць наведена на рис. 3.

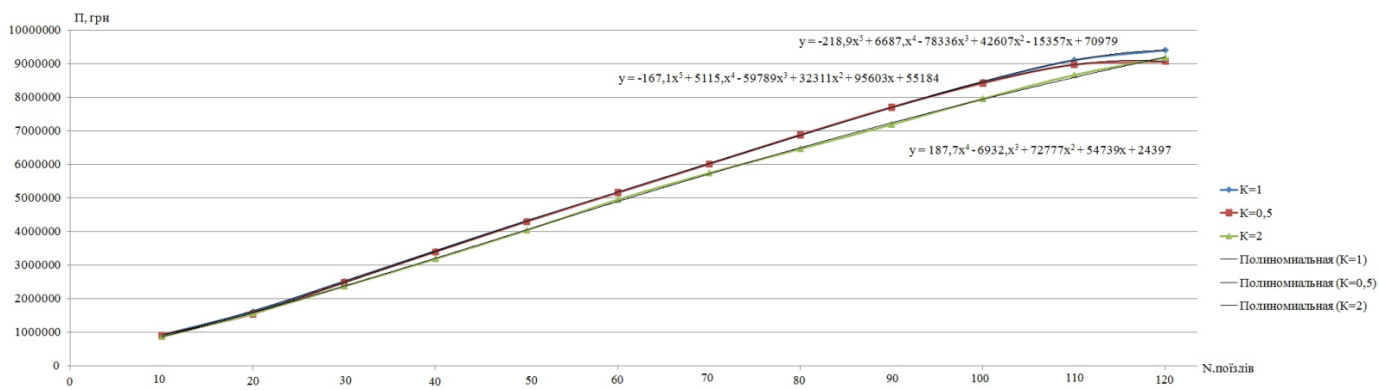


Рис. 3 – Сумарна функція прибутку при розподілі поїздопотоків в залежності від інтересів окремих залізниць

Отже, виконуючи розподіл поїздопотоків, диспетчерський апарат по суті має можливість впливати на прибуток Укрзалізниці в цілому та на прибуток окремих залізниць. На рисунках 4 та 5 показано як змінюється прибуток Придніпровської та Донецької залізниць при наданні пріоритетів.

В результатах чітко прослідковується властивість емерджентності та синергізму в системі залізничних перевезень. Тобто при сумісних

кооперативних діях різних елементів системи (Придніпровської та Донецької залізниць), що забезпечують необхідний ефект (прибуток), система буде працювати ефективніше, ніж при оптимізації роботи окремих залізниць їх диспетчерським апаратом. Отриманий оптимальний розподіл в залежності від інтересів залізниць наведено на рисунках 6-8.

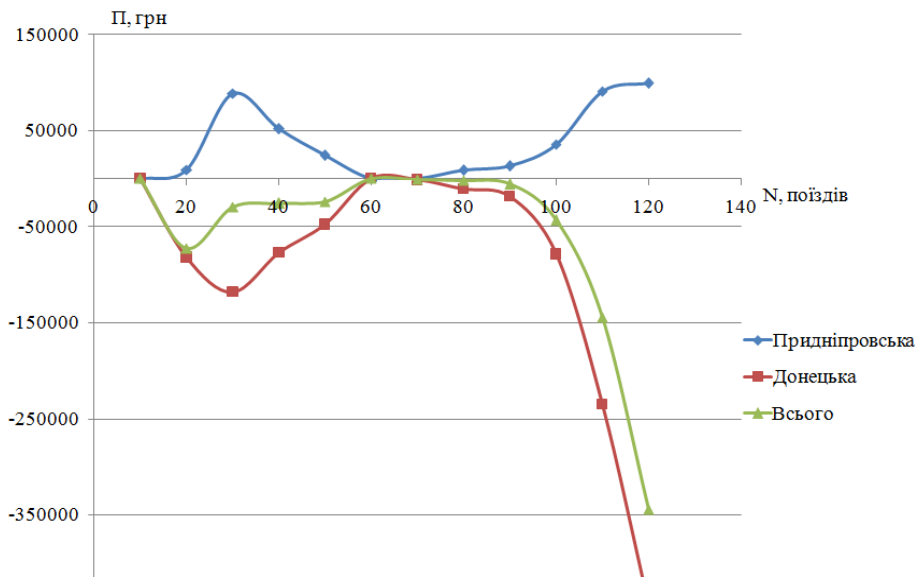


Рис. 4 – Відносна різниця прибутку залізниць в умовах пріоритету Придніпровської залізниці ($t=0,5$)

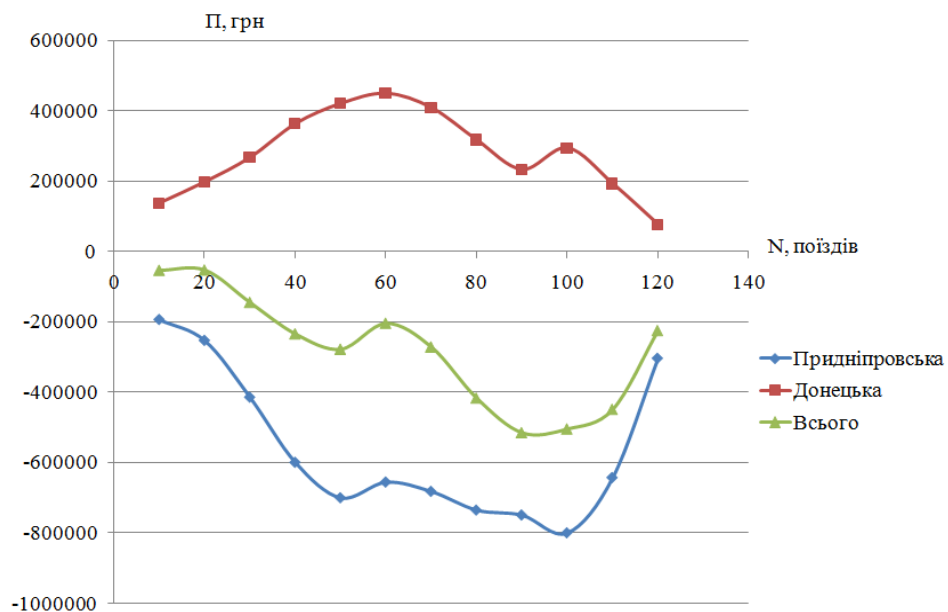


Рис. 5 – Відносна різниця прибутку залізниць в умовах пріоритету
Донецької залізниці ($t=2$)

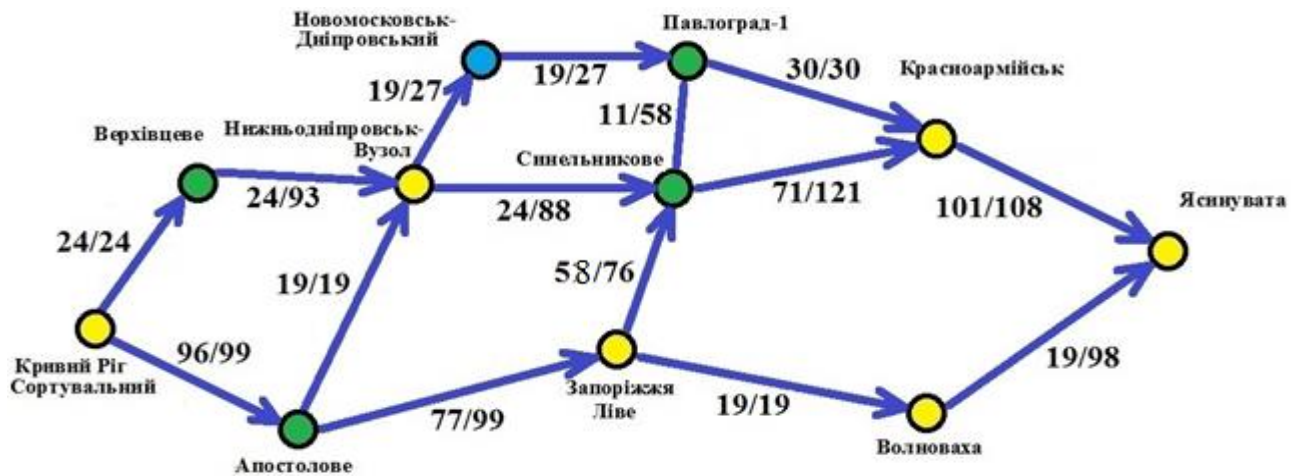


Рис. 6 – Рациональний розподіл поїздопотоків на мережі при $t=1$

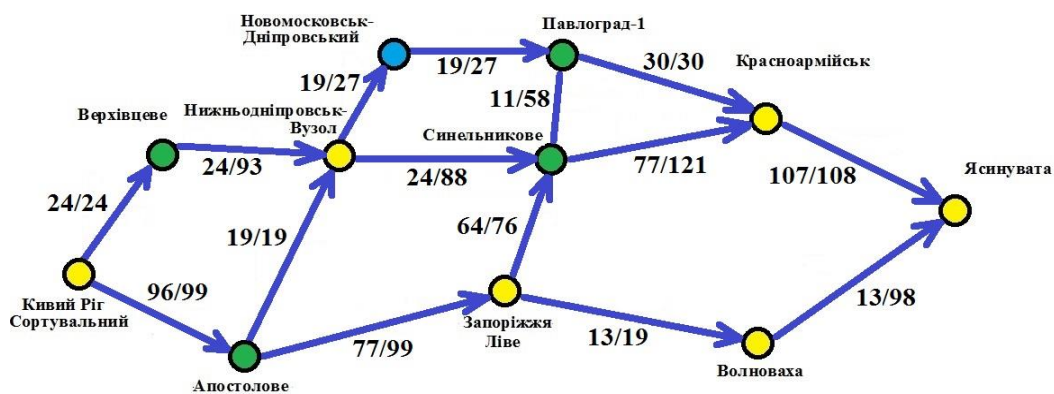


Рис. 7 – Рациональний розподіл поїздопотоків на мережі при $t=0,5$

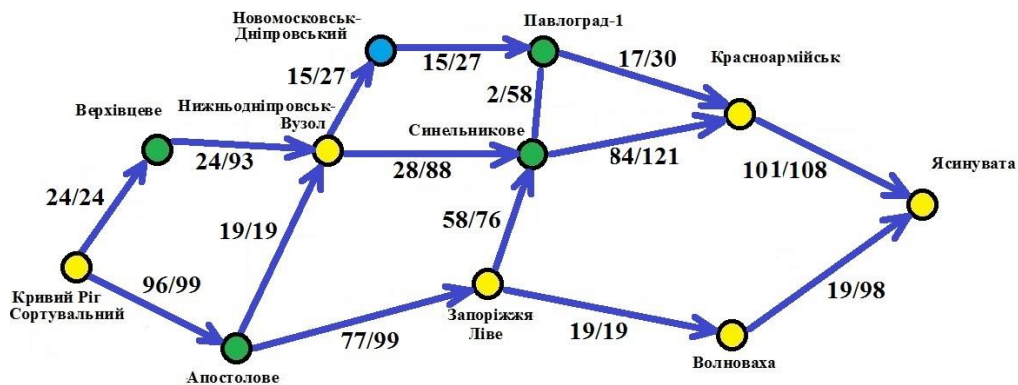


Рис. 8 – Рациональний розподіл поїздопотоків на мережі при $t=2$

Висновки

Задача розподілу поїздопотоків по залізничному полігону є оптимізаційною і може вирішуватись за різними критеріями в скалярній та векторній постановці. У випадку векторного критерію запропоновано в його якості розглядати прибуток окремих залізниць полігону. Така постановка задачі цікава, в першу чергу, з практичної точки зору, оскільки диспетчерський апарат приймає рішення виходячи з інтересів тієї чи іншої залізниць. Якщо ж задачу вирішувати за сукупним скалярним критерієм, то при розподілі поїздопотоків між залізничними вузлами Криворіжжя та Донбасу визначено, що максимальний сукупний прибуток окремих залізниць не дає максимального прибутку кожній залізниці окремо.

Список літератури:

1. Український транспортно-логістичний центр [Електр. ресурс]: – Режим доступу: <http://www.utlc-uz.com.ua/common.html>.
2. Поттгофф Г. Теория транспортных потоков. Под ред. Е.П.Нестерова [Текст] / Г. Поттгофф - Транспорт, Москва 1975.
3. Чибісов Ю.В. Математична модель вибору раціональних варіантів пропуску поїздопотоків по залізничній мережі [Текст] / Ю.В. Чибісов, Г.Я. Мозолевич // Восточно-европейский журнал передовых технологий. №3/11 (57) 2012, - С. 37-41.
4. Мозолевич Г.Я. Удосконалення технології пропуску поїздопотоків на паралельних напрямках та у залізничних вузлах [Текст] / Г.Я. Мозолевич, Ю.В. Чибісов // Тезисы международной научно-практической конференции «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий», Д.: ДНУЖТ. – 2012 р. – С. 66-67.
5. Практичні рекомендації з технологічного-економічного управління експлуатаційною роботою залізниць (ЦД-0068), затверджені наказом

Укрзалізниці від 05.08.2008 № 128/3, - Головне управління перевезень:- Київ, 2006.

6. Козаченко Д.М. Визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках [Текст] / Д.М. Козаченко, Г.Я. Мозолевич, О.О. Мазуренко // Восточно-европейский журнал передових технологій. – № 2/3 (50) 2011, – С. 40–45.

УДК 656.2

**ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ПОТОКІВ ПОЇЗДІВ ПО
ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОЛІГОНУ**

Г. Я. Мозолевич

В статье выполнены исследования влияния распределения потоков поездов по участкам железнодорожного полигона на экономические показатели, формализована и решена задача выбора маршрутов пропуска поездопотоков. Рис. 8. Библиогр. 6.

Ключевые слова: распределение потоков, прибыль железных дорог, выбор маршрутов, задача оптимизации, железнодорожный полигон.

UDC 656.2

**CHOICE OF RATIONAL DIVISION STREAM TRAIN ON RAILWAY
POLIGON**

G. Y. Mozolevych

The impact of flow distribution of trains on the railway polygon sections on the economic indicators have been performed in this article. The problem of selecting routes of the trainflows was formalized and solved. Im. 8. Bibliogr. 6.

Keywords: distribution of flows, earnings of railways, the choice of route optimization problem, the train polygon.