

Р.В. Вернигора¹, канд. техн. наук, доц.,
О.Ю. Папахов², канд. техн. наук, доц.,
Н.О. Логвінова², асис.

1 – Державний національний університет залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail:

2 – Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: papahov0362@mail.ru

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СИРОВИНИ ТА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ПО ЗАЛІЗНИЧНИМ НАПРЯМКАМ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ

Р.В. Вернигора¹, канд. техн. наук, доц.,
А.Ю. Папахов², канд. техн. наук, доц.,
Н.О. ЛОГВІНОВА², асис.

1 – Государственный национальный университет железнодорожного транспорта имени ак. В. Лазаряна, г. Днепропетровск, Украина, e-mail:

2 – Государственное высшее учебное заведение “Национальный горный университет”, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: papahov0362@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕВОЗКИ СЫРЬЯ И ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ С ПАРАЛЕЛЬНЫМИ ХОДАМИ

R. Vernigora¹, PhD, Associate Professor
A. Papakhov², PhD, Associate Professor
N. Logvinova², Graduate

1 – State National University of Railway Transport of the name of ac. V. Lazaryana, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail:

2 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine e-mail: papahov0362@mail.ru

MATHEMATICAL MODEL OF TRANSPORTATION OF RAW MATERIAL AND PREPARED PRODUCTS OF ENTERPRISES OF MOUNTAIN-METALLURGICAL COMPLEX FOR TO RAILWAY DIRECTIONS WITH PARALLEL MOTIONS

Метою роботи є визначення економічно обґрунтованої доцільності розподілу вантажопотоків з сировиною та готовою продукцією підприємства гірничо-металургійного комплексу між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами.

Методичною основою виконання комплексних досліджень є: аналіз і узагальнення літературних джерел і позитивного досвіду пропуску вантажних поїздів; математичне моделювання поїзної роботи залізничного напрямку з паралельними ходами; методи статистичної, вартісної, аналітичної та експертної оцінки даних, щодо стану пропуску вантажних поїздів з сировиною та продукцією підприємств гірничо-металургійного комплексу між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами в оперативних умовах.

Результатами дослідження є: економічно обґрунтовані в оперативних умовах розміри руху вантажних поїздів з сировиною та готовою продукцією підприємств гірничо-металургійного комплексу по ділянках залізничних напрямків з паралельними ходами при обмеженні їх пропускної спроможності на електрифікованих ділянках в умовах застосування оптового ринку електроенергії.

В якості наукової новизни вперше сформульовано і вирішено оптимізаційну задачу щодо організації поїздопотоків що перевозять сировину та готову продукцію підприємств гірничо-металургійного комплексу на залізничних напрямках з паралельними ходами в умовах диференційованих тарифів на електроенергію, що дозволяє прискорити доставку вантажів та скоротити витрати залізниці на просування вантажних поїздів. Удосконалено економіко-математичну модель залізничного напрямку з паралельними ходами, яка, на відміну від існуючих, дозволяє визначити найбільш раціональний розподіл поїздопотоків з сировиною та готовою продукцією підприємств гірничо-металургійного комплексу по ділянках напрямків в залежності від експлуатаційної ситуації.

Розроблені процедури і методи можуть бути використані при створенні автоматизованих систем підтримки прийняття рішень для оперативного розподілу поїздопотоків з сировиною та готовою продукцією підприємств гірничо-металургійного комплексу по паралельним ходам в умовах диференційованих тарифів на електроенергію.

гію та швидкісного руху пасажирських поїздів, при розробці автоматизованого робочого місця (АРМ) диспетчерського персоналу оперативного-розпорядчих відділів дирекцій та залізниць.

Ключові слова: *продукція гірничо-металургійного комплексу, перевезення, пропускна спроможність, розміри руху поїздів.*

Постановка проблеми. Поставленою задачею є такий розподіл поїздопотоків по ланках залізничної мережі з паралельними ходами, на якій всі поїздопотоків станцій відправлення сировини та готової продукції підприємств гірничо-металургійного комплексу і станцій призначення прикріплені між собою, аби скоротити строк доставки вантажу та перевезення були здійснені з мінімальними для залізниці витратами.

У постановці задачі передбачається, що всі вихідні дані про перевезення сировини та готової продукції між підприємствами гірничо-металургійного комплексу та морськими портами Одеського регіону на залізничному напрямку з паралельними ходами: Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна та Знам'янка – Колосівка – Котовськ – Роздільна – Одеса-Сортувальна і техніко-економічні характеристики їх елементів повністю відомі, причому є незмінними в часі. Задача відшукування найвигідніших схем напрямку поїздопотоків по паралельних ходах при незмінній інфраструктурі розглядається в статичній постановці.

Приймаються безпосередньо заданими:

- початкові і кінцеві станції відправлення поїздопотоків з сировиною та готовою продукцією підприємств гірничо-металургійного комплексу напрямку (Знам'янка, Одеса-Сортувальна);

- об'єми поїздопотоків з сировиною та готовою продукцією підприємств гірничо-металургійного при відправленні з початкових станцій і прибуття на кінцеві станції даного напрямку (Знам'янка, Одеса-Сортувальна);

- існуюча транспортна інфраструктура даного залізничного напрямку з паралельними ходами;

- техніко-економічні характеристики напрямку інфраструктури, що становлять вузли (Знам'янка, Помічна, Колосівка, Одеса-Застава, Котовськ, Роздільна, Одеса-Застава 1, Одеса-Сортувальна) і ланки мережі (перегони напрямку), які включають технічне оснащення і параметри, залежності витрат на перевезення і переробку поїздопотоків від їх об'єму і структури;

- інтенсивність завантаження елементів мережі нерозподілювальними поїздопотоків, які не можна передавати між паралельними ходами.

Для вирішення поставленої задачі широко використовуються лінійні моделі і методи лінійного програмування. Використання цих методів вимагає, щоб питомі вартість перевезень на ланці мережі була постійною і не залежала від розмірів вагонопотоків і поїздопотоків. Аналіз вартості перевезення по паралельних ходам показав, що ряду елементів транспортної інфраструктури мережі властиві природні нелінійності: одноколіїні залізничні перегони напрямків мають зупинки поїздів при схрещеннях, кількість яких непропорційно поїздопотоків; викликають нелінійність функцій витрат і обгони вантажних поїздів пасажирськими (прискореними і швидкісними). Нелінійний ха-

рактер функцій витрат пов'язаний і з істотною нерівнозначністю вартості перевезень в навантаженому і порожньому напрямках.

Аналіз останніх досліджень. При використанні лінійних методів погіршість від ігнорування нелінійностей частково зменшується при введенні обмежень пропускної спроможності ланок мережі, тим самим не допускається таке їх завантаження, питомі вартість перевезення при якій істотно відрізняється від набутих апіорі значень. Однак, при цьому залишаються все ж значні відхилення, особливо, пов'язані з помилками у встановленні порожніх напрямків і чисельних значень величин обмежень пропускної спроможності.

Визначення невирішених раніше проблем. Проаналізовані існуючі нелінійні методи рішення не вимагають обов'язкового введення штучних обмежень і допускають включення в розрахунок функцій витрат на перевезення сировини та готової продукції підприємств гірничо-металургійного комплексу в тому вигляді, який передбачається найбільш реальним економічним процесам. При цьому, пропускну спроможність елементів транспортної системи можна рахувати необмеженою, тому що, в монотонний характер зростання нелінійних функцій витрат по перевезенню неважко фактично ввести ці обмеження, тобто зробити неможливим завантаження елементу вище заданого рівня.

При незмінному технічному стані елементів мережі додаткові витрати на перевезення кожного подальшого поїзда зазвичай зростають. Тому з достатньою точністю, витрати по перевезенню на напрямку з паралельними ходами, що мають одноколіїні перегони з двохколіїними вставками можуть бути представлені у вигляді опуклої і неубутної функції, залежної від потужності вантажних і пасажирських поїздопотоків.

Мета і задачі. Метою дослідження є визначення економічно обґрунтованих розмірів руху вантажних поїздів з сировиною та готовою продукцією підприємств гірничо-металургійного комплексу між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами при застосуванні в денний час швидкісного руху пасажирських поїздів на електрифікованих лініях в умовах оптового ринку електроенергії. Задачею дослідження є розподіл в оперативних умовах поїзної роботи при пропуску вантажних поїздів з сировиною та готовою продукцією підприємств гірничо-металургійного комплексу між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами.

Виклад основного матеріалу. У якості розрахункової схеми приймається мережа, що складається з транспортних ланок, на яких сконцентровані всі витрати по перевезеннях, і абстрактних точкових вузлів, що розділяють ці ланки. Така схема при відповідному методі її побудови [1] в достатній мірі адекватна залі-

значному напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса-Сортувальна.

Сформована розширена мережа, яка включає як дійсні ланки, по яких безпосередньо здійснюються перевезення, так і додаткові ланки - функції витрат на перевезення вантажів, які представляють собою відповідні залежності витрат на переробку поїздопотоків у вузлах. Врахувати цю специфіку можливо двоюко: або скласти функції витрат так, щоб зробити надмірно великою вартість перевезення нерозподілювальних поїздопотоків, або вказати в самій схемі транспортної інфраструктури, по яких ланках не допускається перевезення таких поїздопотоків.

У якості нерозподілювальних поїздопотоків на даній інфраструктурі приймаємо перевезення сировини та готової продукції підприємств гірничо-металургійного комплексу по напрямкам: Знам'янка – Берегова (порт «Южний») через Котовськ, Знам'янка – Одеса-Сортувальна через Котовськ - у вантажному русі, Знам'янка – Одеса через Котовськ - в пасажирському русі, тому що ці перевезення мають значну кружність.

Математичне формулювання задачі. На розглядаємому полігоні напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса задається граф, що складається з R вузлів і N орієнтованих дуг, по яких виконуються перевезення P видів невзаємозамінних поїздопотоків. Зв'язки між вузлами і дугами, а також можливості перевезень по ним різних поїздопотоків описуються за формулою

$$S_p = \|s_{ijl}\|, \quad (1)$$

де $i=1, 2, \dots, R$; $j=1, 2, \dots, N$; $l=1, 2, \dots, P$

$$\begin{cases} +1, \text{ якщо дуга } j \text{ виходить з вершини } i \text{ і по ній} \\ \text{може здійснюватися перевезення } l \text{ поїздопотоку;} \\ s_{ijl} = -1, \text{ якщо дуга } j \text{ входить у вершину } i \text{ і по} \\ \text{ній може ввозитися } l \text{ поїздопотік;} \\ 0, \text{ в інших випадках.} \end{cases}$$

Таким чином S_p представляє по суті багаточарову вектор-матрицю інцидентій вузлів і дуг графа, причому елементами матриць є P -мірні вектори, елементи яких приймають значення -1, 1 або 0. Но S_p представляти такими, що також складається з P звичайних матриць інцидентій, кожна з l яких відповідає графові перевезень l роду поїздопотоків.

Кожній вершині графа поставимо у відповідність P -мірний вектор b_i , l координата якого дорівнює об'єму l роду поїздопотоку, що відправляється (при $b_i^l > 0$) з i вершини або що прибуває (при $b_i^l < 0$) в цю вершину.

Вся інформація про об'єми відправлення і прибуття може бути задана за допомогою P -мірного вектор-стовпця $b = \{b_i\}$, кожна i координата якого представляє вектор перевезень (відправлення і прибуття) відповідного i вузла.

Аналогічно завантаження всіх дуг графа всіма видами поїздопотоків може бути задано з допомогою L -мірного вектор-стовпця поїздопотоків X , кожна j координата якого представляє P -мірний вектор всіх видів поїздопотоків на j дузі.

Якщо через F позначити функціонал сумарних витрат на перевезення по паралельним напрямкам всіх видів поїздопотоків, то математична модель може бути представлена у вигляді:

$$\begin{aligned} \min F(X); \\ S_p X = b; \\ X \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

На дугах мережі заданий також вектор нерозподілювального поїздопотоку X^H , то модель набере наступного вигляду:

$$F(X + X^H) = [\varphi(x_1 + x_1^H) + \psi(x_2 + x_2^H)] \rightarrow \min \quad (3)$$

при обмеженнях:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &= x; \\ S_p X &= b; \\ X &\geq 0. \end{aligned}$$

де X – вектор розподілювального поїздопотоку між напрямками;

X^H – вектор нерозподілювального поїздопотоку між напрямками;

b – вектор розподілювальних та нерозподілювальних перевезень.

Модель (2) по суті ідентична (3) з тою лише неістотною відмінністю, що зміщена точка відліку. Функціонал F вважатиметься монотонно зростаючим [2], опуклим та диференційованими.

Побудова початкового допустимого плану.

Формально допустимий план поїздопотоків нелінійної транспортної задачі може бути знайдений так само, як і в лінійному випадку по будь-якому з відомих алгоритмів лінійного програмування. Проте цей план обов'язково буде опорним, тобто відповідатиме одній з вершин багатогранника обмежень. Для лінійних задач - це перевага, оскільки там процедура поліпшення допустимого плану будується шляхом перебору в певному порядку частини його вершин. Крім того, і це головне, в лінійних задачах оптимальним планом обов'язково є одна з вершин.

Зовсім інше положення в нелінійних мережних транспортних задачах - тут, навіть при перевезеннях одного виду поїздопотоків і відсутності обмежень пропускної спроможності ланок мережі, в оптимальному плані зазвичай існують замкнуті контури з нульовими об'ємами перевезень на ланках, що входять в ці контури, тобто оптимальний план не є деревом графа. Тому методи побудови початкового допустимого плану, що застосовується в лінійному випадку, можуть призводити до отримання планів, суттєво далеких від оптимального.

Якщо в оптимальному плані деякі перевезення здійснюються по двох або більш паралельним маршрутам, то диференціальна вартість перевезень по цих напрямках однакова. Іншими словами, процес оптимізації розподілу поїздопотоків по мережі прагне до того, аби всі необхідні перевезення прямували по найкоротших (у сенсі диференціальних витрат) напрямках від пунктів відправлення до пунктів призначення. Оскільки в нелінійному випадку диференціальні витрати (тобто вартість перевезень «останньої тонни») істотно залежать від завантаження транспортних ліній, то вказана процедура виконується з відносно малими розмірами безпосередньо розподілювальних на кожному кроці об'ємів перевезень. Тому початковий допустимий план, може бути побудований наступним чином.

Розбиваємо весь необхідний вектор перевезень b на M відносно невеликих частин b_s . Тоді

$$b = b_1 + b_2 + \dots + b_s + \dots + b_M$$

Потім вирішуємо для кожного чергового значення вектора перевезень транспортну задачу при отриманих раніше сумарних завантаженнях мережі, таких, що приймаються за нерозподілювальний потік. Якщо кожна частина b_s буде мала, то можна вважати при оптимізації s задачі, що диференціальні витрати не змінюються. Тому кожна чергова транспортна задача буде лінійною, причому у якості коефіцієнтів цільової функції виступатимуть диференціальні витрати, а вектором обмежень - величина b_s . Підсумовуючи результати вирішення всіх M допоміжних задач, отримаємо у результаті початковий план X^0 , побудований з використанням диференційованих витрат.

Алгоритм побудови початкового плану виглядає наступним чином:

$$X^0 = \sum_{s=1}^{s=M} \tilde{Z}^s \quad (4)$$

де $\tilde{Z}^s$ - рішення допоміжної задачі лінійного програмування наступного вигляду:

$$\min (\text{grad } F(\sum_{s=1}^{s=M} \tilde{Z}^j, Z^s)) \quad (5)$$

за умови $S_P Z^s = b$,

причому $\sum_s b_s = b$; $Z^0 = 0$.

По суті спроба побудови початкового плану за допомогою алгоритму (4) і (5) базується на передумові про безперервність і монотонність оптимального рішення $\tilde{X}$ від вектора перевезень b . Розглянемо, за яких умов і в якому сенсі ці властивості застосовні до задачі типа (3).

Досліджуємо наступну екстремальну задачу:

$$\min f(X^k); \quad (6)$$

$$A X^k = \sum_{s=1}^{s=k} b_s;$$

$$X^k \geq 0.$$

При різних $k = 1, 2, \dots, M-1$ вирішуватиметься задача вигляду (3), але не для всього об'єму перевезень. Необхідно з'ясувати, коли при зміні k від 1 до M послідовність рішень задачі (6*) $\tilde{X}^1, \tilde{X}^2, \dots, \tilde{X}^M$ буде монотонно зростаючою $\tilde{X}^1 < \tilde{X}^2 < \dots < \tilde{X}^M$.

Разом з (6) введемо допоміжні задачі (6*) $s = 1, 2, \dots, M$, вигляду:

$$\min f(\tilde{X}^{s-1} + y_s); \quad (6^*)$$

$$A y_s = b_s;$$

$$y_s \geq 0$$

Приймемо для визначеності $\tilde{X}^0 = 0$.

Для того, щоб послідовність рішень $\tilde{X}^1, \tilde{X}^2, \dots, \tilde{X}^M$ була такою, що монотонно зростає, необхідно і досить, аби виконувалася умова

$$\tilde{X}^k = \sum_{s=1}^{s=k} \tilde{y}_s, \quad (7)$$

(при цьому $k = 1, 2, \dots, M$, а $\tilde{y}_s$ - рішення задачі (6*)).

Для $k = 1$ твердження очевидне, оскільки $\tilde{X}^1 = \tilde{y}_1$.

Тоді $\tilde{X}^k = \tilde{X}^{k-1} + \tilde{y}_k$, а через позитивність (7):

$$\tilde{X}^k \geq \tilde{X}^{k-1}$$

При побудові початкового плану зручно вектор b розбивати на колінеарні складові, тобто приймати всі $b_s = h_s b$.

$$\min (\text{grad } F(\sum_{j=0}^{s-1} \tilde{Z}^j, Z^s)), \quad (8)$$

за умов: $S_P \cdot Z^s = h_s \cdot b$

$$Z^s \geq 0; \quad Z^0 = 0;$$

$$\sum_{s=1}^{s=M} h_s = 1; \quad h_s \geq 0.$$

Умови безперервності і монотонності при розбитті вектора перевезень b на колінеарні складові розглянемо відповідно до задачі:

$$\min f(X_t); \quad (9)$$

$$A \cdot X_t = b \cdot t;$$

$$X_t \geq 0.$$

Встановимо, коли має місце співвідношення

$$\frac{d\tilde{X}_t}{dt} > 0, \quad (10)$$

де $\tilde{X}_t$ - рішення задачі (9), тобто коли при збільшенні вектора перевезень жодна з компонент оптимального плану не зменшується, а хоч би одна зростає.

Виключимо з розгляду вироджені випадки і припустимо, що рішення в (9) єдине. Тоді вочевидь, що (10) справедливо, якщо функціонал f лінійний.

Функціонал f однорідний. З однорідності f виходить, що $f(tX) = t^0 f(X)$. Тоді якщо $\tilde{X}$ єдине рішення (9) при $t=1$, то для довільного $t > 0$ $\tilde{X}_t = t \cdot \tilde{X}$.

Функція $\varphi(t) = \frac{1}{t} Z_t$ при цьому відповідає умові

$$\varphi(t) \geq 0; \quad A\varphi(t) = A\frac{1}{t}Z_t = b \quad (11)$$

тобто обмеженням (8) при $t=1$. Проте

$$f(\varphi(t)) = f\left(\frac{1}{t}Z_t\right) = \frac{1}{t^\alpha} f(\tilde{Z}_t) < \frac{1}{t^\alpha} f(t\tilde{X}) = f(\tilde{X}) \quad (12)$$

що протирічить оптимальності $\tilde{X}$. Умова однорідності є лише достатньою, але не необхідною.

В тому випадку, якщо неоднорідний функціонал $f \frac{dX_t}{dt}$ не задовольняє умові (9) не можна стверджувати, що навіть при $\max h_s \rightarrow 0$ алгоритм побудови початкового плану згідно (6), (12) дає оптимальне рішення задачі (3). Отже, необхідна процедура покращення допустимого, але неоптимального плану.

Алгоритм покращення допустимого плану

Ідея необхідності направлення поїздопотоків по найкоротших (у розумінні диференціальної вартості) напрямках може бути використана і на другому етапі, коли потрібно перейти від одного допустимого плану до іншого, більш кращого. Якщо на деякій i -й ітерації отриманий допустимий, але неоптимальний план, то це означає, що деякі поїздопотoki (або їх частина) пішли не тими маршрутами. Тому необхідно зняти деяку частину всіх поїздопотоків і направити їх по вигідніших маршрутах. Формально перехід від плану $X^i \neq \tilde{X}$ до плану X^{i+1} - такому, що $F(X^{i+1}) < F(X^i)$, може бути виконаний по алгоритму

$$X^{i+1} = (1-k^i)X^i + \tilde{y}^i, \quad (13)$$

де $\tilde{y}^i$ - рішення допоміжної задачі лінійного програмування вигляду

$$\begin{aligned} \min \quad & (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), \tilde{y}^i); \\ & S_P \tilde{y}^i = k^i b; \\ & \tilde{y}^i \geq 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Допустимість вектора X^{i+1} для задачі (3) перевіряється. При досить малих k^i послідовність значень

X^i , побудована згідно алгоритму (13) і (14), є такою, що монотонно зменшується.

Розглянемо значення різниці

$$\delta^i = F(X^{i+1}) - F(X^i). \quad (15)$$

При досить малих k^i справедливі співвідношення:

$$F(X^{i+1}) = F(X^i - k^i X^i + \tilde{y}^i) = F(X^i - k^i X^i) + (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), \tilde{y}^i) + o(\|\tilde{y}^i\|);$$

$$F(X^{i+1}) = (X^i - k^i X^i + k^i X^i) = F(X^i - k^i X^i) + (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), k^i X^i) + o(\|k^i X^i\|).$$

Оцінимо величини $o(\|\tilde{y}^i\|)$ і $o(\|k^i X^i\|)$. Через обмеженість координат X^i величина $\|X^i\|$ також обмежена і $o(\|k^i X^i\|)$ може бути замінена на $o(k^i)$.

Для оцінки величини $o(\|\tilde{y}^i\|)$ врахуємо, що через диференційоване рішення задачі (14) по параметру k^i має місце рівність $\tilde{y}^i(k^i) = \tilde{y}^i(0) + \frac{d\tilde{y}^i(0)}{dk^i} k^i + o(k^i)$, але при $k^i = 0$, $\tilde{y}^i = 0$ і, отже

$$\|\tilde{y}^i\| = \left\| \frac{d\tilde{y}^i(0)}{dk^i} \right\| k^i + o(k^i). \quad (16)$$

Правомірність заміни $o(\|\tilde{y}^i\|)$ на $o(k^i)$ стає очевидною, якщо врахувати, що при опуклому і монотонно зростаючому характері $F(X)$ $\left\| \frac{d\tilde{y}^i}{dk^i} \right\|$ обмежена.

Тепер розглянемо різницю δ^i з врахуванням отриманих оцінок для $o(\|\tilde{y}^i\|)$ і $o(\|k^i X^i\|)$:

$$\delta^i = (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), \tilde{y}^i) - (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), k^i X^i) + o(k^i). \quad (17)$$

Оскільки $\tilde{y}^i$ є рішенням (16), а $k^i X^i$ її неоптимальним планом, то

$$\omega^i = (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), \tilde{y}^i) - (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), k^i X^i) < 0 \quad (18)$$

Неважко бачити, що ця різниця має порядок $o(k^i)$. При безперервності $\text{grad } F$ в точці X^i і неоптимальності плану X^i це витікає з представленого ω^i у вигляді:

$$\omega^i = \left[(\text{grad } F(X^i - k^i X^i), \frac{\tilde{y}^i}{k^i}) - (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), X^i) \right], \quad (19)$$

де $\frac{\tilde{y}^i}{k^i}$ і X^i - допустимі і істотно різні плани основної задачі (3).

Якщо виключити особливі випадки (точки порушення безперервності градієнта та інші), то отримаємо $\delta^i < 0$, тобто побудована послідовність X^i - що монотонно зменшується.

Згідно (14) на кожному кроці покращення плану перевезень фактично вирішується задача відшукування найкоротших відстаней на мережі, довжини дуг якої дорівнюють диференціальним вартостям проїзду по ним. Ці вартості від кроку до кроку змінюються, і тому особливо важливе значення для вирішення задачі планування поїздопотоків на мережі великих розмірів має використання швидкодіючих алгоритмів пошуку найкоротших відстаней.

Визначення структури функцій витрат на перевезення. Цільова функція, яка використовується в подальших розрахунках є сумою витрат на пересування вантажних поїздів по ланках мережі з врахуванням відповідних витрат на переробку поїздів у вузлах мережі. Конкретний же вигляд функцій витрат на перевезення і міру їх деталізації, вимоги до точності наближення до оптимуму та інші визначаються метою рішення задачі.

Вважатимемо, що задача розподілу поїздопотоків розглядаються стосовно залізничного напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса-Сортувальна, агрегованому відповідним чином до розмірів мережі (12 вузлів і 13 ланок).

Міра агрегації залізничного напрямку мережі визначається можливістю здобуття достовірної інформації про напрямки і розміри поїздопотоків. Мережа агрегується так, щоб всі ділянки, які отримують поїздопоток, були однорідні на всьому протязі по найважливіших технічних та експлуатаційних показниках таких як кількість колій, вид тяги, система централізації та блокування (СЦБ), довжина приймально-відправних колій. При цьому пасажирські поїздопоток вважаються заданими і сталими.

Процес агрегації поширюється і на вихідну інформацію про перевезення. У ній вказується, з якого вузла в який і в якій кількості слідує вантажні поїздопоток. Вагова норма поїздів, статичні навантаження на вісь вагонів і міру використання вантажопідйомності приймаються середніми і єдиними для всіх поїздів, що проходять по вибраній ділянці.

Витрати по перевезенню вантажів можна розбити на дві складові:

- постійні і не залежні від об'єму перевезень (витрати по обслуговуванню постійних пристроїв інфраструктури);
- залежні - безпосередньо визначаються інтенсивністю завантаження елементів мережі вантажними і пасажирськими поїздопоток.

При вирішенні задачі оптимізації постійний доданок в цільовій функції може бути з розрахунку виключено, тому розглядається лише частина витрат, залежна від об'єму перевезень. Значення функціонала, що виходить, при цьому буде менше повних витрат на деяку константу, але план оптимальних поїздопотоків на кожній ділянці не зміниться.

Витрати на ділянках мережі. Для розрахунків на ЕОМ залежні витрати на кожній транспортній ланці мережі мають бути представлені у вигляді функції від обсягів вантажних поїздопотоків, з врахуванням розмірів руху порожніх поїздопотоків по регульовальних завданнях в обох напрямках. Необхідно, аби ці функції зважали на специфіку кожної ділянки і залежали від вказаних вище найважливіших технічних і експлуатаційних параметрів. У них повинні входити як безпосередньо експлуатаційні витрати, так і капіталовкладення в рухомий склад і вартість вантажної маси.

За основу узято аналітичні вирази по визначенню залежних наведених витрат на перевезення вантажу по залізничній ланці, запропоновані і засновані на методиці [3, 4]. Використані аналітичні формули, спираються на гіпотезу рівночисельного обміну, а потужність локомотиву приймається рівною потрібної.

Функції витрат на ланках розбиваються на класи [5] залежно від кількості колій на дільниці таким чином, що функції одного класу розрізняються лише значеннями відповідних коефіцієнтів, залежних від експлуатаційних і технічних параметрів інфраструктури дільниці. Кількістю коефіцієнтів функцій і визначається об'єм інформації для кожної ділянки мережі.

Кількість навантажених поїздів в непарному напрямі більша, ніж в парному, а кількість порожніх вантажних поїздів в непарному напрямі менша, ніж в парному. Тому застосовуємо наступну термінологію: направлення від вузла з меншим номером до вузла з більшим номером назвемо прямим, а протилежне - зворотним, незалежно від їх завантаження. Напрямок, відповідний більшій кількості вантажних поїздів, назвемо навантаженим, а зустрічний - порожнім.

Гіпотеза рівночисельного обміну кількості поїздів, на якій зазвичай ґрунтуються функції витрат дає можливість визначати розміри порожніх поїздопотоків на ланці залежно від розмірів завантажених поїздопотоків. Тому функції витрат розглядаються як функції лише двох аргументів - поїздопотоків в обох напрямках.

Витрати на двоколійній ділянці і ділянці з двоколійними вставками. Витрати на двоколійній ділянці і ділянці з двоколійними вставками представимо у вигляді двох доданків

$$F(\Gamma_1, \Gamma_2) = F_1(\Gamma_1, \Gamma_2) + \Delta F_{\text{рух}}^{\text{од}}(N_{\text{ван}}), \quad (20)$$

де N_1, N_2 - кількість вантажних поїздів кожного напрямку перевезень;

$N_{\text{ван}} = \max(N_1, N_2)$ - розміри руху навантаженого напрямку перевезень.

Основні витрати $F_1(\Gamma_1, \Gamma_2)$ - представляються:

$$B_1(\Gamma_1, \Gamma_2) = \sum_{i=1}^{i=6} C_i, \quad (21)$$

У (21) відповідні доданки мають наступний економічний зміст:

C_1, C_2 – витрати на механічну роботу по просуванню поїздопотоків в прямому і зворотному напрямках відповідно;

C_3 – витрати на механічну роботу по перевезенню порожніх поїздопотоків;

C_4 – витрати, пропорційні часу перевезення;

C_5 – витрати, пропорційні довжині пробігу;

C_6 – витрати, пропорційні об'єму вантажу, що перевозиться;

C_7 – додаткові витрати, пов'язані з додатковим простоям поїздопотоків при зміні локомотивів і локомотивних бригад, пов'язаних з обертом чи переломами маси поїздів.

Складова $\Delta F_{\text{рух}}^{\text{од}}(N_{\text{ван}})$ – це додаткові витрати, пов'язані з наданням вікон або простоями при неможливості організації безупинного схрещення по одноколіїних ділянках з двоколіїними вставками. Це доданок істотно відрізняється від нуля і зростає нелінійно лише при розмірах руху, близьких до пропускної здатності ділянки.

Розглянемо кожну складову витрат. Витрати C_1, C_2 визначаються за формулою

$$C_k = 0,365LN_k \left[P(\omega_0' + i_k^e) + Q_k(\omega_k'' + i_k^e) \right] C_{\text{ткм}}, \quad (22)$$

де $k=1$ – в прямому і $k=2$ – у зворотному напрямі;

L – довжина ланки, км;

Q_k – маса навантаженого поїзда брутто, т;

P – маса локомотиву, т;

N_k – кількість вантажних поїздів даного напрямку;

ω_0' – питомий опір руху локомотиву, Н/м;

ω_k'' – питомий опір руху навантаженого вагону, Н/м;

i_k^e – еквівалентний ухил, ‰;

$C_{\text{ткм}}$ – витрати на 1 т-км роботи локомотиву по подоланню основного опору.

Маса навантаженого поїзда

$$Q_k = \frac{q_k l_{\text{пв}}}{l_{\text{вісь}}} \quad (23)$$

де q_k – навантаження на вісь навантаженого вагону в даному напрямку, т;

$l_{\text{вісь}}$ – довжина вагону, що доводиться на вісь, м;

$l_{\text{пв}}$ – довжина приймально-відправних колій, м.

Кількість вантажних поїздів розраховується за формулою

$$N_k = \frac{\Gamma_k}{365\gamma_k Q_k}, \quad (24)$$

де Γ_k – вантажопотік в даному напрямку, т;

$\gamma_k = \frac{Q_{\text{нет}}}{Q_{\text{бр}}}$ – відношення середньої маси поїзда нетто до середньої маси поїзда брутто. Ця величина приймається рівною $1 - \frac{q_{\text{пор}}}{q_k}$.

$q_{\text{пор}}$ – середнє навантаження на вісь порожнього вагону.

Величини значень ходової швидкості v_x , що беруть участь в розрахунках, швидкості на розрахунковому ухилі v_p і опору ω_0 вважаються постійними.

Опір руху навантаженого вагону залежить від ходової швидкості і навантаження на вісь і розраховується за формулою [6]

$$\omega_k'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1v_x + 0,0025v_x^2}{q_k}, \quad (25)$$

де v_x – ходова швидкість поїзда, км/год;

q_k – навантаження на вісь, т/вісь.

Остаточно формула (22) має вигляд:

$$C_k = a_k \cdot \Gamma_k; \quad k=1, 2. \quad (26)$$

де a_k – коефіцієнт, свій для кожної ланки і напрямку (його значення залежить від довжини ділянки, станційних колій, навантаження на вісь, еквівалентних ухилів і поясної зони).

Витрати на механічну роботу по перевезенню порожнього вагонопотоку визначається аналогічно:

$$C_3 = 0,365LC_{\text{ткм}} \left[P(\omega_0' + i_k^e) + Q_{\text{п}}(\omega_{\text{п}}'' + i_k^e) \right] |N_1 - N_2|, \quad (27)$$

де $Q_{\text{п}}$ – маса порожнього поїзда, т;

$\omega_{\text{п}}''$ – питомий опір руху порожнього вагону, що визначається за формулою (25) при $q_k = q_{\text{п}}$;

i_k^e – дорівнює i_1^e , якщо порожні вагонопотоки рухаються в прямому напрямку, і i_2^e , якщо в зворотному.

Величина $Q_{\text{п}}$ визначається по навантаженню на вісь порожнього поїзда $q_{\text{п}}$.

Формулу (27) можливо записати у вигляді:

$$C_3 = a_3^k |N_1 - N_2|, \quad \text{при } k=1, 2; \quad (28)$$

де a_3^k рівно a_3^1 , якщо порожній поїздопотік рухається в прямому напрямку, і a_3^2 , якщо в зворотному напрямку.

Витрати, пов'язані з вартістю локомотиво-годинами та вагоно-годинами складуть

$$C_4 = \frac{365L}{v_x} \left[2e_{\text{л-год}} \max(N_1 + N_2) + e_{\text{віс-год}} \left(\frac{Q_1}{q_1} N_1 + \frac{Q_2}{q_2} N_2 + \frac{Q_{\text{п}}}{q_{\text{п}}} |N_1 - N_2| \right) \right] \quad (29)$$

де $e_{л-год}$ – вартість локомотиво-години;

$e_{віс-год}$ – вартість поїздо-години.

Вартість локомотиво-години визначається за формулою

$$e_{л-год} = e_{бр-год} + \frac{e_{\bar{M}} \bar{M}}{8760}, \quad (30)$$

де $e_{бр-год}$ – витратна ставка локомотивних бригад;

$e_{\bar{M}}$ – відрахування від вартості локомотиву, що доводиться на 1 H ;

$\bar{M}$ – потрібна потужність локомотиву.

$$\bar{M} = \max_k \cdot \frac{v_p \left[Q \cdot (\omega_k'' + i_k^p) + P(\omega_0' + i_k^p) \right]}{270}, \quad (31)$$

де i_k^p – керівний ухил для кожного напрямку.

Величини $e_{бр-год}$ та $e_{\bar{M}}$ приймаються єдиними для всієї мережі напрямку.

Вартість вагоно-години визначається за формулою

$$e_{віс-год} = 2,57 \cdot 10^{-3} + \frac{12 \cdot \gamma \cdot E \cdot C_{ван} + (1 - \gamma) \cdot (E + \Delta_t) \cdot C_t}{8760}, \quad (32)$$

де E – нормативний коефіцієнт ефективності;

$C_{ван}$, C_t – середня вартість відповідно вантажу і тари, $грн.$;

Δ_t – норма реноваційних відрахувань вагонного парку, $грн.$

Витрати, пропорційні часу розраховуються за формулою

$$C_4 = a_{41} \max(N_1, N_2) + a_{42} \Gamma_1 + a_{43} \Gamma_2 + a_{44} |N_1 - N_2| \quad (33)$$

де a_{4i} – коефіцієнт, залежний від керівного ухилу прямого і зворотного напрямків, що приходить на поїзд, вантажну масу на колесах в прямому та зворотному напрямках, пересуванню порожніх поїздів.

Витрати, пропорційні пробігу поїздів визначаються за формулою

$$C_5 = 365L \left[2e_{лок-км} \max(N_1, N_2) + e_{віс-км} \left(\frac{Q_1}{q_1} N_1 + \frac{Q_2}{q_2} N_2 + \frac{Q_{п}}{q_{п}} |N_1 - N_2| \right) \right], \quad (34)$$

де $e_{лок-км}$, $e_{віс-км}$ – витрати, віднесені відповідно на локомотиво-кілометри та вагоно-кілометри, $грн.$

Аналогічно попередньому, формулу (34) представимо наступним чином

$$C_5 = a_{51} \max(N_1, N_2) + a_{52} \cdot \Gamma_1 + a_{53} \cdot \Gamma_2 + a_{54} \cdot |N_1 - N_2|, \quad (35)$$

де a_{5i} – коефіцієнт, залежний від керівного ухилу прямого і зворотного напрямків, що приходить на поїзд, вантажну масу на колесах в прямому та зворотному напрямках, пересуванню порожніх поїздів.

Витрати, пропорційні об'єму перевезень, визначаються за формулою

$$C_6 = \Gamma_1 + \Gamma_2 + 730 \cdot Q_{п} \max(N_1, N_2) e_{т-км бр} \cdot L, \quad (36)$$

де $e_{т-км бр}$ – питомі витрати, пропорційні тонно-кілометровій роботі брутто.

Рівність (36) запишемо у наступному вигляді

$$C_6 = a_{61} \Gamma_1 + \Gamma_2 + a_{62} \max(N_1, N_2), \quad (37)$$

де a_{6i} – коефіцієнт витрат, пропорційний обсягу перевезень.

Підсумовуючи ряд наведених вище складових, отримаємо основні витрати по перевезенню (20) у наступному вигляді

$$F_1(\Gamma_1, \Gamma_2) = P_1 \cdot \Gamma_1 + P_2 \cdot \Gamma_2 + P_3^k \cdot \left| \frac{\Gamma_1}{\lambda_1} + \frac{\Gamma_2}{\lambda_2} \right| + P_4 \cdot \max\left(\frac{\Gamma_1}{\lambda_1}, \frac{\Gamma_2}{\lambda_2}\right), \quad (38)$$

де $\frac{\Gamma_k}{\lambda_k} = N_k$ – кількість поїздів вантажного та зворотно-го напрямків;

λ_k – коефіцієнт переходу від розміру вантажопотоку в тоннах до кількості поїздів даного напрямку, що розраховується за формулою

$$\lambda_k = \frac{365 \cdot q_k \cdot I_{пв}}{I_{віс}} \quad (39)$$

Витрати, пов'язані з схрещенням і обгоном поїздів $\Delta F_{рух}^{од}(N_{ван})$ на однокільній ділянці з двохкільніми вставками складуть:

$$\Delta B_{рух}^{од}(N_{ван}) = 365 \cdot L \cdot R \cdot (e_1 + e_2), \quad (40)$$

де R – кількість зупинок поїздів із-за схрещень і обгонів;

e_1 – витрати, пов'язані з розгоном і гальмуванням поїзда при зупинках;

e_2 – втрати, пов'язані з простоем поїзда при схрещеннях.

Висновки. У якості розрахункової схеми прийнято мережу, що складається з транспортних ланок, на яких сконцентровані всі витрати по перевезеннях, і абстрактних точкових вузлів, що розділяють ланки.

При незмінному технічному стані елементів мережі додаткові витрати на перевезення кожного подальшого поїзда з сировиною та продукцією гірничо-металургійного комплексу зростають. Тому з достатньою точністю, витрати по перевезенню вантажу на напрямку з паралельними ходами, що мають однокільні перегони з двохкільніми вставками можуть бути представлені у вигляді монотонно зростаючої та опуклої функції, залежної від потужності вантажних і пасажирських поїздопотоків.

Сформована таким чином розширена мережа, яка включає як дійсні ланки, по яких безпосередньо здійснюються перевезення, так і додаткові ланки - функції витрат на перевезення, які представляють собою відповідні залежності витрат на переробку поїздопотоків у вузлах.

В якості опорного плану прийнятий існуючий розміри руху вантажних поїздів з сировиною і готовою продукцією підприємств гірничо-металургійного комплексу по паралельним ходам. Для лінійних задач - це перевага, оскільки там процедура покращення допустимого плану будується шляхом перебору в певному порядку частини його вершин. Крім того, і це головне, в лінійних задачах оптимальним планом обов'язково є одна з вершин.

Експлуатаційні витрати на перевезення, які залежать від розмірів руху, розраховують для кожної ділянки напрямку додаванням добутоків одиничних або укрупнених витратних ставок на розмір витрат вимірників на ділянках - окремо у парному та непарному напрямках.

При моделюванні роботи паралельних напрямків враховуються наступні вимірники:

- часові: вагоно-години, локомотиво-години поїзної та маневрової роботи, бригадо-години локомотивних бригад;
- пробіжні: вагоно-кілометри, поїздо-кілометри, локомотиво-кілометри, тонно-кілометри брутто вагонів та локомотивів;
- енергетичні: тонно-кілометри механічної роботи, кіловат-години електроенергії.

Для вирішення задачі ефективного розподілу поїздопотоків з сировиною та готовою продукцією підприємств гірничо-металургійного комплексу по паралельним ходам залізничної мережі використовуються лінійні моделі і методи лінійного програмування. Вживання цих методів як обов'язкову передумову вимагає, щоб питома вартість перевезень на ланці мережі була постійною і не залежала від розмірів вагонопотоків і поїздопотоків з вантажем.

При моделюванні процесу ефективного розподілу поїздопотоків по паралельним ходам включені наступні витрати:

- витрати на механічну роботу по просуванню поїздопотоків в прямому та зворотному напрямках;
- витрати на механічну роботу по перевезенню поворотних поїздопотоків;
- витрати, пропорційні часу перевезення;
- витрати, пропорційні довжині пробігу поїздів;
- витрати, пропорційні об'єму вантажу, що перевозиться;
- додаткові витрати, пов'язані з простоем розподільвальних поїздопотоків на станціях зміни локомотивів чи локомотивних бригад;
- додаткові витрати, пов'язані з простоем розподільвальних поїздопотоків на станціях перелому маси поїздів, пов'язані з зменшенням маси до критичної норми.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гибшман А. Е. О размещении грузовых потоков на параллельных ходах [Текст] / А. Е. Гибшман // Вестник ВНИИЖТа, 1995, № 6, с. 3—6.
2. Левин Д. Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д. Ю. Левин //— М.: Транспорт, 1998. — 175 с.
3. Бутко Т.В. Формування логістичної технології просування вантажопотоків за жорсткими нитками графіка руху поїздів [Текст] / Т.В. Бутко, Д.В. Ломотко, А.В. Прохорченко, К.О. Олійник. //Збірник наукових праць УкрДАЗТ. — 2009. — Вип. 111. — С.23-31.
4. Батурин А. П. Организация вагонопотоков в однотупные поезда [Текст]/А.П. Батурин, А.Ф. Бородин, В.В. Панин//Мир транспорта, № 5, 2010 С. 72-77.
5. Логвінова Н.О. Методика розподілення вантажних перевезень паралельними ходами на електрифікованих ділянках [Текст] /Н.О. Логвінова//Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2011, Вип. 40, с. 57 – 59.
6. Гребенюк П.Т. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]/ П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, О. А. Некрасов А. Л. Лисицын, П. П. Стромский, А. П. Боровиков, Т. С. Чукова. В. Г. Григоренко, В. М. Первушина // М.: Транспорт, 2005. - 287 с.

REFERENCES

1. Gibshman, A. About placing of freight streams on motions [Text]/ A. Gibshman // Announcer VNIIZH-Ta, 1995, № 6, p. 3—6.
2. Levin, D. Optimizatsiya streams of trains [Text] / D. levin //— M.: Transport, 1998. — 175 p.
3. Butko, T. Formuvannya logistic technology of advancement of traffics of goods of after the hard threads of train table [Text] / T. Butko, D. Lomot'ko, A. Prokhorchenko, K. Oliynik. // Zbirnik scientific labours UKR-DAZT. — 2009. Vip. 111. — P.23-31
4. Baturin, A. Organizatsiya vagonopotokov in the odnogrupalni trains [Text] /A. Baturin, A. Borodin, V. Pannin//Mir of transport, № 5, 2010 P. 72-77
5. Logvinova, N. Metodika rozpodilennya vantazhnykh perevezen paralelnymi khodamy na elektrifikovanykh dilyankakh", "Visnyk Dnipropet. nats. un-tu zalizn. transp. im. Lazaryana", vol. 40, pp. 57-59.
6. Grebenyuk, P. Rules of hauling calculations for train work [Text]/ P. Grebenyuk, A. Dolganov, O. Nekrasov A. Lisitsyn, P. Stromskiy, A. Mushrooms, T. Chukova. V. Grigorenko, V. Pervushina // M.: Transport, 2005. - 287 p.

Целью работы является определение экономической обоснованности целесообразности распределения грузопотоков с сырьем и готовой продукцией предприятия горно-металлургического комплекса между участками железнодорожного направления с параллельными ходами.

Методической основой выполнения комплексных исследований является: анализ и обобщение литературных источников и позитивного опыта пропуска грузовых поездов; математическое моделирование по-

ездной работы железнодорожного направления с параллельными ходами; методы статистической, стоимостной, аналитической и экспертной оценки данных, относительно состояния пропуска грузовых поездов с сырьем и продукцией предприятий горно-металлургического комплекса между участками железнодорожного направления с параллельными ходами в оперативных условиях.

Результатами исследования является: экономически обоснованные в оперативных условиях размеры движения грузовых поездов с сырьем и готовой продукцией предприятий горно-металлургического комплекса по участкам железнодорожных направлений с параллельными ходами при ограничении их пропускной способности на электрифицированных участках в условиях применения оптового рынка электроэнергии.

В качестве научной новизны впервые сформулирована и решена оптимизационная задача относительно организации поездопотоков, которые перевозят сырье и готовую продукцию предприятий горно-металлургического комплекса на железнодорожных направлениях с параллельными ходами в условиях дифференцированных тарифов на электроэнергию, что позволяет ускорить доставку грузов и сократить расходы железной дороги на продвижение грузовых поездов. Усовершенствованно экономико-математическую модель железнодорожного направления с параллельными ходами, которая, в отличие от существующих, позволяет определить наиболее рациональное распределение поездопотоков с сырьем и готовой продукцией предприятий горно-металлургического комплекса по участкам направлений в зависимости от эксплуатационной ситуации.

Разработанная процедура и методы могут быть использованы при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений для оперативного распределения поездопотоков с сырьем и готовой продукцией предприятий горно-металлургического комплекса по параллельным ходам в условиях дифференцированных тарифов на электроэнергию и скоростного движения пассажирских поездов, при разработке автоматизированного рабочего места (АРМ) диспетчерского персонала оперативно обслуживающих отделов дирекции и железной дороги.

Ключевые слова: продукция горно-металлургического комплекса, перевоза, пропускная способность, размеры движения поездов.

The purpose of work is determination of the economic grounded expedience of distributing of traffics of goods with raw material and prepared products of enterprise of

mountain-metallurgical complex between the areas of railway direction with parallel motions.

Methodical basis of implementation of complex researches is: analysis and generalization of literary sources and positive experience of admission of freight trains; mathematical design of train work of railway direction with parallel motions; methods of statistical, cost, analytical and expert estimation of information, in relation to the state of admission of freight trains with raw material and products of enterprises of mountain-metallurgical complex between the areas of railway direction with parallel motions in operative terms.

Research results is: sizes of motion of freight trains economic grounded in operative terms with raw material and prepared products of enterprises of mountain-metallurgical complex on the areas of railway directions with parallel motions at limitation of their carrying capacity on the electrified areas in the conditions of application of wholesale market of electric power.

As a scientific novelty first formulated and decided optimization task in relation to organization of trains, which transport raw material and prepared products of enterprises of mountain-metallurgical complex on railway directions with parallel motions in the conditions of the differentiated tariffs on electric power, that allows to accelerate delivery of loads and cut down expenses railway on advancement of freight trains. Improved economy-mathematical model of railway direction with parallel motions, which, unlike existing, allows to define the most rational distributing of trains with raw material and prepared products of enterprises of mountain-metallurgical complex on the areas of directions depending on an operating situation.

The developed procedure and methods can be used for creation of CAS of support of making decision for the operative distributing of trains with raw material and prepared products of enterprises of mountain-metallurgical complex on parallel motions in the conditions of the differentiated tariffs on electric power and speed motion of passenger trains, at development of workstation (ARM) of controller's personnel of operatively prescriptive departments of management and railway.

Keywords: products of mountain-metallurgical complex, transportation, carrying capacity, sizes of motion of trains.

Рецензент д.т.н., профессор
В.И. Бобровський