

М. І. БЕРЕЗОВИЙ (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна), С. О. ПОЖИДАЄВ (Білоруський держаний університет транспорту, м. Гомель, Республіка Беларусь), В. С. БУРОВ (Кримська філія МДА, Севастополь)

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ РОЗПОДІЛУ СОРТУВАЛЬНИХ КОЛІЙ МІЖ ПРИЗНАЧЕННЯМИ ВАГОНОПОТОКІВ

Розглянуто новий метод пошуку оптимального розподілу колій у парку накопичення составів технічних станцій між призначеннями плану формування поїздів. В якості критерію оптимізації обрано мінімум експлуатаційних витрат, пов'язаних з поїздоутворенням.

Ключові слова: сортувальна станція, спеціалізація колій, метод гілок та меж.

Рассмотрен новый метод поиска оптимального распределения путей в парке накопления составов технических станций между назначениями плана формирования поездов. В качестве критерия выбран минимум эксплуатационных расходов, связанных с поездобразованием.

Ключевые слова: сортировочная станция, специализация путей, метод ветвей и границ.

There was described a new method of searching the optimal allocation of the tracks according to the plan of forming the trains in the piling yard of the technical station. As a criterion of optimality there was chosen the minimum size of the maintenance cost connected with the train making-up.

Key words: sorting stations, tracks specialization, branches and boundaries method.

1. Вступ

Основні витрати сортувальних станцій припадають на процеси пов'язані з розформуванням, накопиченням та закінченням формування вантажних поїздів у сортувальних парках. Впровадження прогресивної ресурсо- та енергозберігаючої технології на етапі поїздоутворення на сортувальних станціях дозволить підвищити ефективність використання їх технічного забезпечення та зменшити собівартість перевезень. В умовах конкуренції з іншими видами транспорту це є одним з вагомих факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць У зв'язку з цим задача удосконалення спеціалізації сортувальних колій є актуальною.

В роботі [1] формалізовано сумарні середньодобові витрати на формування поїздів певного призначення плану формування сортувальної станції, які складаються з: витрат локомотиво-годин на підготовку сортувальних колій до розпуску чергового составу $c_{пр,с}$; витрат локомотиво-годин та палива на повторне сортуванням вагонів з відсівних колій $c_{пс,с}$; приведених витрат локомотиво-годин на закінчення формування составів поїздів $c_{зф,с}$; приведених витрат на виставку составів з урахуванням витрат палива та витрат на відновлення верхньої

будови колій хвостової та гірочної горловин в кривих малого радіусу, відповідно $c_{вист,с}$ та $c_{гк,с}$.

2. Вибір раціонального варіанту розподілу сортувальних колій між призначеннями вагонопотоків

Питання, що пов'язані з раціональним розподілом сортувальних колій між призначеннями вагонопотоків виникають при обмеженій загальній кількості сортувальних колій, які використовуються для накопичення окремих призначень. Розподіл доцільно проводити таким чином, щоб отримати оптимальний ефект, під яким можна прийняти мінімальні експлуатаційні витрати на розформування-формування поїздів.

Оптимізаційна задача формується наступним чином. Є деяка обмежена кількість одноступінних та групових составів поїздів $s=1...m$ для накопичення яких у сортувальному парку повинні бути виділені сортувальні колії. Є деяка обмежена кількість сортувальних колій w , які можуть бути об'єднані у групи $g=1...k$, колії кожної з цих груп можуть використовуватись для накопичення составів не більше ніж одного призначення. Утворені групи можуть бути розділені на підгрупи g_1 – групи по одній колії, g_2 – по дві, ..., g_{max} – відповідно до максимальної кількості груп у групових поїздах. Для подаль-

шої ілюстрації розглянуто сортувальний парк з чотирьох колій, у якому накопичується одногрупний та трохгрупний состави поїздів. У якості змінних обрано кількість призначень що накопичується на виділеній групі колій x_{sg} , при цьому змінна x_{sg} приймає значення $x_{sg}=1$ якщо група колій g виділяється для накопичення сос-

тава s , інакше $x_{sg}=0$. У випадку, якщо для накопичення составів s -го призначення виділяється g -та група колій, то показник ефективності, який буде отримано при цьому складає c_{sg} . Показники ефективності можуть бути представлені у вигляді матриці на наведеної в табл. 1.

Таблиця 1

Матриця показників ефективності розподілу сортувальних колій

| | | Групи колій | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 12 | 13 | 14 | 23 | 24 | 34 | 123 | 124 | 134 | 234 |
| состави | 1 | $c_{1,1}$ | $c_{1,2}$ | $c_{1,3}$ | $c_{1,4}$ | $c_{1,12}$ | $c_{1,13}$ | $c_{1,14}$ | $c_{1,23}$ | $c_{1,24}$ | $c_{1,34}$ | $c_{1,123}$ | $c_{1,124}$ | $c_{1,134}$ | $c_{1,234}$ |
| | 2 | $c_{2,1}$ | $c_{2,2}$ | $c_{2,3}$ | $c_{2,4}$ | $c_{2,12}$ | $c_{2,13}$ | $c_{2,14}$ | $c_{2,23}$ | $c_{2,24}$ | $c_{2,34}$ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |

При формуванні матриці, з метою заборони використання деяких груп колій для формування окремих составів, у відповідні клітини заноситься значення ∞ . Так у табл. 1 заборонено використання груп із трьох колій для формування одногрупних поїздів.

Оптимізаційна задача полягає у пошуку таких значень x_{sg} , які забезпечують для цільової функції

$$Z(x_{sg}) = \sum_{s=1}^m \sum_{g=1}^k c_{sg} x_{sg}$$

мінімальне значення при наступних обмеженнях:

- для кожного призначення повинна бути виділена одна група колій

$$c_{2,1}x_{2,1} + c_{2,2}x_{2,2} + c_{2,3}x_{2,3} + c_{2,4}x_{2,4} + c_{2,12}x_{2,12} + c_{2,13}x_{2,13} + c_{2,14}x_{2,14} + c_{2,23}x_{2,23} + c_{2,24}x_{2,24} + c_{2,34}x_{2,34} \rightarrow \min$$

$$c_{1,1} x_{1,1} + c_{1,2} x_{1,2} + c_{1,3} x_{1,3} + c_{1,4} x_{1,4} + c_{1,12} x_{1,12} + c_{1,13} x_{1,13} + c_{1,14} x_{1,14} + c_{1,23} x_{1,23} + c_{1,24} x_{1,24} + c_{1,34} x_{1,34} + c_{1,123} x_{1,123} + c_{1,124} x_{1,124} + c_{1,134} x_{1,134} + c_{1,234} x_{1,234} = 1$$

$$x_{2,1} + x_{2,12} + x_{2,13} + x_{2,14} + x_{2,23} + x_{2,24} + x_{2,34} + x_{2,123} + x_{2,124} + x_{2,234} = 1$$

$$x_{1,1} + x_{2,1} + x_{1,12} + x_{2,12} + x_{1,13} + x_{2,13} + x_{1,14} + x_{2,14} + x_{1,123} + x_{2,123} + x_{1,124} + x_{2,124} + x_{1,134} + x_{2,134} \leq 1$$

$$x_{1,2} + x_{2,2} + x_{1,12} + x_{2,12} + x_{1,23} + x_{2,23} + x_{1,24} + x_{2,24} + x_{1,123} + x_{2,123} + x_{1,124} + x_{2,124} + x_{1,234} + x_{2,234} \leq 1$$

$$x_{1,3} + x_{2,3} + x_{1,13} + x_{2,13} + x_{1,23} + x_{2,23} + x_{1,34} + x_{2,34} + x_{1,123} + x_{2,123} + x_{1,134} + x_{2,134} + x_{1,234} + x_{2,234} \leq 1$$

$$x_{1,4} + x_{2,4} + x_{1,14} + x_{2,14} + x_{1,24} + x_{2,24} + x_{1,34} + x_{2,34} + x_{1,124} + x_{2,124} + x_{1,134} + x_{2,134} + x_{1,234} + x_{2,234} \leq 1$$

3. Метод пошуку оптимального розподілу колій між призначеннями плану формування

Наведена задача є задачею розподілу ресурсів. У випадку, якщо для одного призначення виділяється одна колія вона може бути зведена до розподільчої задачі лінійного програмування і розв'язана за допомогою відповідних алгоритмів, наприклад алгоритму Мака. Але через те, що для накопичення призначення може вико-

$$\sum_{g=1}^k x_{sg} = 1, s = \overline{1, m};$$

- кожна колія може використовуватись для накопичення не більше ніж для одного призначення

$$\sum_{s=1}^m \sum_{\substack{g \in g_1 \\ q \in g}} x_{sg} + \sum_{s=1}^m \sum_{\substack{g \in g_2 \\ q \in g}} x_{sg} + \dots$$

$$\dots + \sum_{s=1}^m \sum_{\substack{g \in g_{\max} \\ q \in g}} x_{sg} \leq 1, q = \overline{1, w}.$$

Наведена задача є цілочисельною задачею лінійного програмування з булевими змінними.

Для прикладу, що розглядається, задача виглядає наступним чином

ристовуватись декілька колій в загальному випадку використовувати метод Мака для розв'язання не можна.

В [2] для розподілу колій між призначеннями застосовано метод динамічного програмування. Такий підхід може застосовуватись у випадку, коли витрати, що пов'язані з накопиченням для різних колій мають близьке значення. Коли ці витрати по різним коліям суттєво відрізняються, динамічне програмування для розв'язання задачі використовувати не можна,

так як в результаті розв'язання необхідно отримати не лише кількість колій для накопичення, а і визначити конкретні колії.

В загальному випадку задача розподілу сортувальних колій між призначеннями є цілочисельною задачею лінійного програмування. Використання симплекс методу для розв'язання цієї задачі не є ефективним через велику розмірність, суттєву виродженість та цілочисельний характер задачі. Тому для її рішення пропону-

ється використовувати комбінаторні методи, а саме метод гілок та меж [3].

В табл. 2 наведено результати розрахунків для варіантів розподілу чотирьох сортувальних колій між двома реальними призначеннями плану формування поїздів парної системи станції Нижньодніпровськ-Вузол. Перше призначення передбачає накопичення одногрупного поїзда, друге – трьохгрупного поїзда.

Таблиця 2

Матриця вартісних показників ефективності розподілу сортувальних колій

| | | Групи колій | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 12 | 13 | 14 | 23 | 24 | 34 | 123 | 124 | 134 | 234 |
| состави | 1 | 448,9 | 429,7 | 472,6 | 473,7 | 384,3 | 414,7 | 415,4 | 464,5 | 464,9 | 491,8 | 320,6 | 325,3 | 352,5 | 342,3 |
| | 2 | 693,3 | 645,2 | 753,1 | 765,6 | 624,5 | 674,5 | 676,8 | 658,3 | 660,6 | 710,6 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |

В цілому задачу можна представити у вигляді зваженого орієнтованого графа $G=(V, E)$ (див. рис. 1).

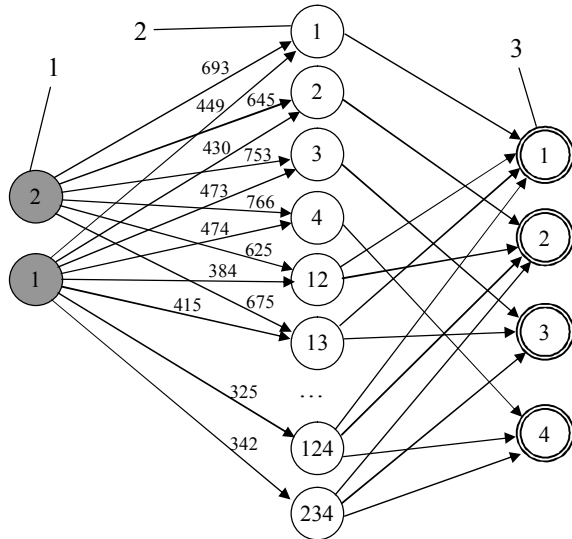


Рис. 1. Графічна постановка задачі розподілу сортувальних колій між призначеннями: 1 – призначення, 2 – групи колій, 3 – колії.

В графі виділено три типи вершин:

- вершини $v_n \in V$, що відповідають призначенням;
- вершини $v_r \in V$, що відповідають групам колій;
- вершини $v_k \in V$, що відповідають коліям сортувального парку.

Дуги орграфа $v_n \rightarrow v_r$ вказують на виділення групи колій для накопичення деякого призначення. У відповідність цим дугам поставлені витрати, що пов'язані з накопиченням составів

призначення v_n на групі колій v_r . Дуги графа $v_r \rightarrow v_k$ вказують на використання в групі v_r деякої колії v_k .

Розв'язання задачі оптимізації полягає у виділенні у графі G незв'язного орієнтованого графа G^* , до якого будуть входити всі вершини графа G типу v_n . При внесенні до графа G^* деякої дуги $v_n \rightarrow v_r$ до нього переносяться і всі дуги для яких вершина v_r є початковою.

Допустимим рішенням є таке рішення у якому кожному призначенню у відповідність поставлено деяку групу колій, а кожна колія використовується лише в одній групі, тобто в орграфі G^* з кожної вершини v_n повинна виходити і в кожному вершину v_k повинна входити строго одна дуга. Оптимальним є таке допустиме рішення при якому загальна вага дуг, що включені у орграф G^* повинна є мінімальною.

Ефективним методом, що використовується для вирішення оптимізаційних задач на графах є метод гілок та меж.

При використанні методу гілок та меж процес розв'язання задачі проходить ітераційно. Загальний принцип розв'язання задачі полягає у наступному:

- перед черговою ітерацією визначається верхня межа рішення U_v , тобто краще рішення, яке відоме на даному етапі.
- виконується направлений перебір можливих варіантів на кожному кроці якого визначається нижня межа рішення U_n , тобто найменше можливе значення показника при прийнятому на даному кроці порядку обходу вершин;

- якщо на деякому кроці нижня межа $U_n \geq U_b$, то подальший перебір варіантів у даному напрямку припиняється;

- якщо на деякому кроці отримано більш ефективне допустиме рішення $U_d^* < U_b$, то змінюється верхня межа рішення $U_b = U_d^*$ і виконується подальший перебір альтернатив;

- ітераційний процес припиняється коли в жодному з можливих напрямків неможливо отримати рішення краще за відоме, тобто для всіх напрямків виконується умова $U_n \geq U_b$.

З метою використання методу гілок та меж для розв'язання задачі оптимізації розподілу сортувальних колій між призначеннями розроблено методи розрахунку верхніх та нижніх меж рішення.

В якості початкового значення верхньої межі рішення доцільно приймати витрати, що відповідають існуючій спеціалізації сортувальних колій $U_b = U_{icn}$.

Визначення нижньої межі рішення ґрунтується на наступних властивостях задачі:

- для кожного призначення можна визначити найбільш ефективну групу колій, використання якої для поїздоутворення забезпечує мінімальні витрати $A_i = \min(c_{ig}^*)$;

- загальні витрати, що пов'язані з поїздоутворенням у сортувальному парку не можуть бути меншими ніж сума мінімальних витрат по кожному призначенню, тобто можна стверджувати, що на початковому кроці можна прийняти

$$U_n = \sum_{i=1}^n A_i;$$

- зменшення, чи збільшення всіх значень деякого рядка призводить лише до відповідного збільшення показника ефективності і не впливає на оптимальний розподіл колій між призначеннями плану формування.

Таким чином, для визначення нижньої межі рішення необхідно в кожному рядку матриці витрат визначити мінімальне значення $A_i = \min(c_{ig}^*)$, розрахувати U_n і перетворити матрицю

$$c_{ig}^* = c_{ig} - A_i.$$

На кожній ітерації розглядається варіант включення та невключення деякої дуги орграфа G в орграф G^* . При цьому до розгляду приймаються дуги $p.g$ для яких $c_{p.g}^* = 0$.

При включенні деякої дуги $p.g$ відбувається перетворення матриці C^* . Стовпець g виключа-

ється з матриці C^* . Перенесення всіх дуг $p.g^*$, що використовують для накопичення хоча б одну колію, яка входить до складу групи g в граф G^* забороняється. З цією метою витрати, що пов'язані з накопиченням составів на відповідних групах колій в матриці C^* змінюються на ∞ .

При невключенні деякої дуги $p.g$ витрати, що пов'язані з накопиченням составів p на відповідних групі колій g в матриці C^* змінюються на ∞ . Нижня межа на наступній ітерації визначається як

$$U_n^* = U_{np}^* + \sum_{i=1}^n A_i^*,$$

де U_{np}^* - нижня межа рішення на попередній ітерації;

$$A_i^* = \min(c_{ig}^*).$$

Графічно пошук оптимального розподілу колій між призначеннями зображується у вигляді бінарного дерева. Приклад такого дерева наведено на рис. 2.

Оптимальне рішення для прикладу, наведеного у табл. 1 наведено на рис. 3. Отримане рішення забезпечує скорочення витрат, що пов'язані з накопиченням поїздів розглянутих призначень на даних коліях на 61,4 тис. грн. на рік.

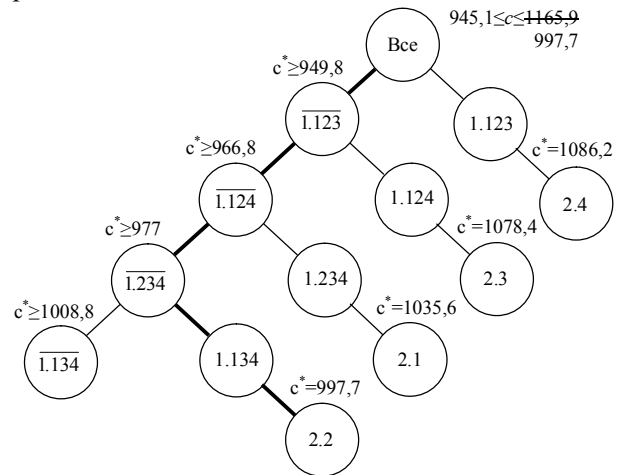


Рис. 2. Бінарне дерево пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між призначеннями

Оптимізації розподілу сортувальних колій реальних станцій виконується в кілька етапів. На першому етапі виділяються колії, що жорстко закріплені за деякими призначеннями, наприклад колії для ремонту вагонів. Ці колії та при-

значення в подальших розрахунках участі не приймають. На другому етапі при роботі в хвостовій горловині декількох маневрових локомотивів призначення розділяються між відповідними маневровими районами таким чином, щоб запобігти перетину маршрутів виставки составів з сортувального парку в парк відправлення. Отримані в результаті кілька оптимізаційних задач розв'язуються незалежно.

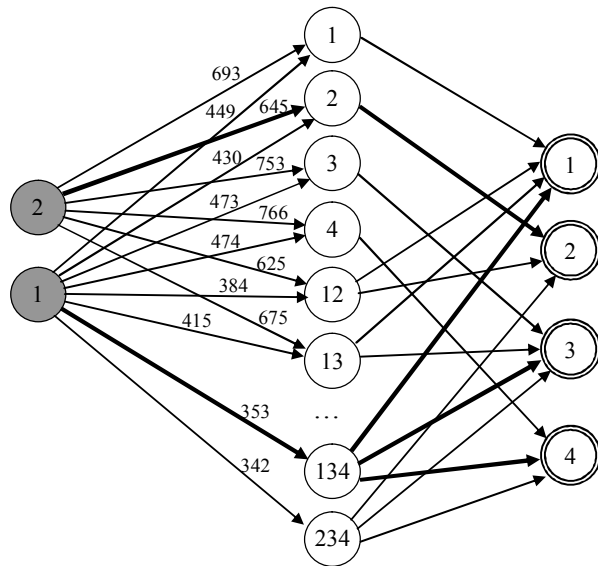


Рис. 3. Оптимальне рішення для прикладу розподілу сортувальних колій між призначеннями

4. Висновок

В якості показника ефективності варіантів вибору спеціалізації сортувальних колій прийнято загальні витрати, які пов'язані з поїздоу-

творенням згідно з планом формування. Наведена задача є цілочисельною задачею лінійного програмування з булевими змінними. Через значну розрідженість, велику розмірність та виродженість для пошуку рішення використовувались комбінаторні методи.

Пошук оптимального розподілу сортувальних колій між призначеннями вагонопотоків здійснюється за допомогою методу гілок та меж, на підставі чого розроблено алгоритми для автоматизованого рішення задачі вибору спеціалізації сортувальних колій.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Березовий, М. І. Розрахунок експлуатаційних витрат при удосконаленні спеціалізації сортувальних колій [Текст] / М. І. Березовий // Зб. наук. праць «Транспортні системи та технології перевезень». – Д., ДНУЗТ. – 2011 р. – С. 5-8
2. Берестов, І. В. Розроблення методики визначення енерговитрат гіркових електровозів при насуві та розпуску составів на гірках [Текст] / І. В. Берестов, С. П. Похилко // Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України: зб. наук. пр.– Х., 2004. – Вип. 62. – С. 10-19.
3. Кристофидис, Н. Терия графов. Алгоритмический поход [Текст] / Н. Кристофидис. – М.: Мир. – 1978. – 432 с.

Надійшла до редколегії 15.11.2011.
Прийнята до друку 16.11.2011.