

Д. М. КОЗАЧЕНКО, М. І. БЕРЕЗОВИЙ, Р. Г. КОРОБЬОВА (ДІТ)

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ СОРТУВАЛЬНИХ КОЛІЙ МІЖ ПРИЗНАЧЕННЯМИ ПЛАНУ ФОРМУВАННЯ

Запропоновано методику розподілу сортувальних колій між призначеннями плану формування, яка дозволяє скоротити загальні експлуатаційні витрати сортувальних станцій на закінчення формування одногрупних та багатогрупних поїздів.

Предложена методика распределения сортировочных путей между назначениями плана формирования, которая позволяет сократить общие эксплуатационные расходы сортировочных станций на окончание формирования одногруппных и многогруппных поездов.

The method of the sorting tracks assignment according to the destinations of the forming plan has been worked out. This method allows reducing the operational costs of the terminal sorting stations connected with the shunting operations for the forming up the unit and multi-unit trains.

Підвищення конкурентоспроможності залізниць на ринку транспортних послуг вимагає вирішення суперечливої задачі освоєння нових обсягів перевезень та зменшення витрат на утримання власної інфраструктури. Ця задача може бути розв'язана за рахунок використання математичних методів для розподілу наявних технічних засобів (ресурсів) між заданими роботами.

Одним із основних видів технічних засобів на залізничних станціях є сортувальні колії.

За часів Радянського Союзу основною задачею залізничного транспорту було забезпечення зростаючих потреб народного господарства у перевезеннях. У зв'язку з цим у працях радянських вчених в основному розглядалась задача визначення оптимальної кількості сортувальних колій на перспективу.

Значне скорочення обсягів перевезень, що мало місце у 90 роки ХХ сторіччя, призвело до появи надлишкової колійної ємності на станціях, тому оптимізаційну задачу в сучасних умовах можна сформулювати наступним чином: необхідно розподілити наявні сортувальні колії між призначеннями так, щоб загальні експлуатаційні витрати, які пов'язані з формуванням поїздів, були мінімальними. Постановка оптимізаційної задачі в подібній формі виконана в [1], але запропонована методика розв'язання цієї задачі має два суттєвих недоліки: по-перше, у якості критерію оптимальності використано кількість вагонів, що бере участь у маневрових операціях, що не зовсім пов'язана з мінімумом експлуатаційних витрат; по-друге, для пошуку оптимального рішення використовується метод порівняння варіантів, який можна використовувати лише при обмеженій кількості

кості колій та призначень. Таким чином, метою даної роботи є удосконалення методів розв'язання задачі розподілу сортувальних колій між призначеннями плану формування на сортувальних станціях.

В сортувальних парках виконується накопичення одногрупних та групових поїздів. Відповідно до [2], для накопичення составів одногрупних поїздів виділяється окрема сортувальна колія, а якщо вагонопотік на відповідне призначення перевищує  $N_{кр} = 200$  вагонів, то для цього призначення необхідно виділяти дві колії. В той же час аналіз спеціалізації сортувальних колій на станціях показує, що  $N_{кр}$ , в залежності від місцевих умов, коливається в межах від 170 до 260 вагонів. Необхідність додаткової колійної ємності для накопичення составів одногрупних поїздів пояснюється тим, що від моменту завершення накопичення до моменту виставки состава на колію надходить деяка кількість вагонів. У випадку, коли накопичення состава виконується на одній колії, ці вагони направляються на відсівні колії і підлягають повторному сортуванню. Обсяг повторного сортування залежить від добової кількості вагонів  $N$ , що надходить на дане призначення, завантаження маневрового локомотива, який виконує виставку составів, характеристик вагонопотоку на дане призначення та довжини сортувальних колій. Для дослідження впливу обсягів добового вагонопотоку на величину повторного сортування вагонів виконано імітаційне моделювання роботи сортувальної станції. В процесі моделювання імітувалось випадкове надходження поїздів у парк прийому, їх обслуговування та розформування, накопичення составів за призначеннями, закінчення формування та

виставка составів у парк відправлення. В результаті серії експериментів отримано поле точок, що зображено на рис. 1, яке характеризує залежність обсягу додаткової переробки вагонів від потужності струменів вагонопотоків. Статистична обробка результатів моделювання

показала, що наведена залежність має вигляд поліному другого ступеня:

$$m_{\text{дс}} = a_0 + a_1 N + a_2 N^2,$$

де  $a_0, a_1, a_2$  – регресійні коефіцієнти, що розраховуються методом найменших квадратів за результатами моделювання.

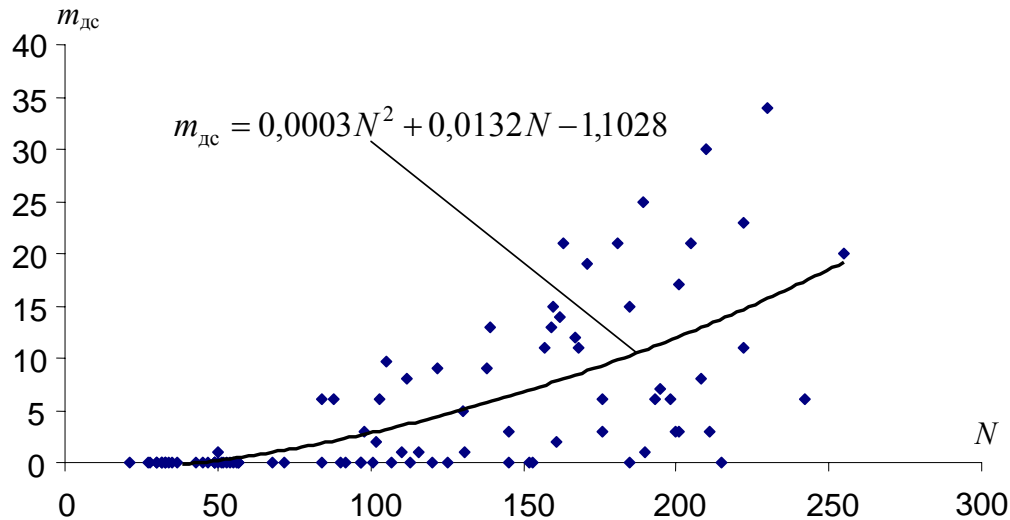


Рис. 1. Залежність обсягів додаткової переробки вагонів від потужності струменів вагонопотоків

Таким чином, приведені маневрові вагоно-години, що пов'язані з накопиченням та закінченням формування одногрупного состава на одній колії, можуть бути розраховані за формулою

$$t_{\text{зф1}}^{\text{од,пр}} = \frac{(a_0 + a_1 N + a_2 N^2) e_{\text{пс}}}{e_{\text{зф}}},$$

де  $e_{\text{пс}}, e_{\text{зф}}$  – розрахункова ставка на 1 вагон повторного сортування та на 1 локомотивогодину маневрової роботи.

У випадку, коли для накопичення одногрупного поїзда виділяється 2 колії,  $t_{\text{зф2}}^{\text{од,пр}} = 0$ .

Накопичення групових поїздів може виконуватись на одній або декількох сортувальних коліях. У випадку, коли для накопичення групового поїзда виділяється одна колія, тривалість закінчення його формування визначається за формулою [3]

$$T_{\text{зф1}}^{\text{гр}} = T_{\text{с}} + T_{\text{зб}},$$

де  $T_{\text{с}}$  – тривалість сортування вагонів состава за призначеннями:

$$T_{\text{с}} = A g_{\text{р}} + B m_{\text{с}},$$

де  $A, B$  – нормативні коефіцієнти;

$g_{\text{р}}$  – кількість відцепів для сортування;

$m_{\text{с}}$  – кількість вагонів у составі;

$T_{\text{зб}}$  – тривалість збирання підібраних груп вагонів на одну колію:

$$T_{\text{зб}} = 1,8 p + 0,3 m_{\text{зб}},$$

де  $p$  – кількість колій, з яких виконується збирання вагонів;

$m_{\text{зб}}$  – кількість вагонів, що переставляються на колію збирання.

Для скорочення тривалості закінчення формування багатогрупного состава його накопичення може виконуватись на декількох коліях. У випадку, коли для кожної групи виділяється окрема колія, закінчення формування полягає у закінченні формування головної групи та закінченні формування і перестановці на колію збирання всіх інших  $(k-1)$  груп

$$T_{\text{зфk}}^{\text{гр}} = T_{\text{ПТЕгол}} + \sum_{i=2}^k T_{\text{ПТЕхви}}.$$

У випадку, коли кількість виділених колій для накопичення состава  $p$  більша за 1 та менша за  $k$ , на деяких коліях накопичується більше ніж одна група і до перестановки вагони на цих коліях необхідно переформувати.

Враховуючи, що загальна кількість сортувальних колій у на станціях є обмеженою, виникає оптимізаційна задача їх розподілу між призначеннями з метою мінімізації часу закінчення формування. У якості змінних  $x_i$  вибрано кількість колій, яка виділяється для накопичення  $i$ -го призначення. У якості показника ефективності  $Z$  прийнято приведені маневрові локомотиво-години, що витрачаються на закінчення формування поїздів. При цьому, якщо для накопичення  $i$ -го призначення виділяється  $x_i$  колій, то показник ефективності складає  $g_i$ . Залежність  $g_i(x_i)$ , яка для конкретних призначень може бути визначена розрахунком, вважається відомою. Для прикладу у табл. 1 наведено залежності  $g_i(x_i)$  у задачі розподілу 7 колій між 4 призначеннями поїздів.

Оптимізаційна задача полягає у пошуку таких значень  $x_i$ , які забезпечують для цільової функції

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_N) = g_1(x_1) + g_2(x_2) + \dots + g_N(x_N) \quad (1)$$

мінімальне значення при обмеженнях

$$x_1 + x_2 + \dots + x_N = y;$$

$$x_i \geq 0.$$

Таблиця 1

**Залежність витрат маневрової роботи на закінчення формування поїздів від кількості виділених колій для накопичення складів**

Кількість колій $x$	Витрати на формування поїздів за призначеннями			
	$g_1(x_1)$	$g_2(x_2)$	$g_3(x_3)$	$g_4(x_4)$
1	1,367	1,447	2,000	0,625
2	0,800	0,900	0,775	0,245
3	0,633	0,657		
4	0,600			

Для вирішення задачі штучно вводиться динамічний процес розподілу. В результаті цього замість однієї задачі з даною кількістю призначень і фіксованим числом колій розглядається ціле сімейство подібних задач, в яких  $y$  може приймати будь-яке позитивне, а  $x_i$  – будь-яке ціле значення. При такому підході до розподілу в динамічному програмуванні вводиться рекурентне співвідношення, що дозволяє вирішувати поставлену задачу в загальному вигляді. Це рекурентне співвідношення при пошуку мінімального значення цільової функції (1) записується наступним чином:

$$f_N(y) = \min_{0 \leq x_N \leq y} [g_N(x_N) + f_{N-1}(y - x_N)], \quad (2)$$

де  $g_N(x_N)$  – витрати, що пов'язані із закінченням формування у випадку, коли для призначення  $N$  виділено  $x_N$  колій;

$f_{N-1}(y - x_N)$  – мінімальні витрати при оптимальному розподілі залишку колій для решти  $(N - 1)$  призначень.

Подібна структура формули (2) дозволяє отримати послідовність  $f_1(y), f_2(y), \dots, f_{N-1}(y), f_N(y)$  для різних  $i$ . В розгорнутому вигляді послідовність функції записується наступним чином:

$$f_N(y) = \min_{0 \leq x_N \leq y} [g_N(x_N) + f_{N-1}(y - x_N)];$$

$$f_{N-1}(y) = \min_{0 \leq x_{N-1} \leq y} [g_{N-1}(x_{N-1}) + f_{N-2}(y - x_{N-2})];$$

.....

$$f_2(y) = \min_{0 \leq x_2 \leq y} [g_2(x_2) + f_1(y - x_2)]; \quad (3)$$

$$f_1(y) = \min_{0 \leq x_1 \leq y} [g_1(x_1) + 0] \quad (4)$$

Оскільки функції  $g_1(x_1), g_2(x_2), \dots, g_N(x_N)$  задаються умовою задачі, то з рівняння (4) слідує, що  $f_1(y)$  визначається лише вихідними даними. Функція  $f_2(y)$  знаходиться через  $f_1(y)$  за співвідношенням (3),  $f_3(y)$  визначається за  $f_2(y)$  і т.д. Так крок за кроком можна розрахувати значення всіх функцій.

Для розв'язання задачі розподілу сортувальних колій між призначеннями складається таблиця залежності приведених маневрових локомотиво-годин від виділеної для накопичення кількості сортувальних колій (див. табл. 2).

Таблиця 2

**Розподіл сортувальних колій між призначеннями**

Кількість колій	1 состав		2 состава		3 состава		4 состава	
	$f_1(y)$	$x_1$	$f_2(y)$	$x_2$	$f_3(y)$	$x_3$	$f_4(y)$	$x_4$
1	1,367	1						
2	0,800	2	2,813	1				
3	0,633	3	2,247	1	4,813	1		
4	0,600	4	1,700	2	3,588	2	5,438	1
5			1,457	3	3,022	2	4,213	1
6			1,290	3	2,475	2	3,647	1
7			1,257	3	2,232	2	3,100	1

Виходячи з отриманих результатів, оптимальним є наступний розподіл колій між 4 призначеннями: на перше, друге та третє призначення необхідно виділити по дві колії, а на четверте призначення достатньо однієї колії. При цьому мінімальні витрати, що витрачаються на закінчення формування поїздів, складають 3,1 локомотиво-годин.

Запропонована методика дозволяє скоротити експлуатаційні витрати сортувальних станцій без додаткових капітальних вкладень і відповідно зменшити собівартість залізничних перевезень.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Москалев П. И. Непрерывность процессов переработки вагонов на станции. – М.: Транспорт, 1976. – 160 с.
2. Проектирование железнодорожных станций и узлов: Справ. и метод. руководство / Под ред. А. М. Козлова, К. Г. Гусевой. – М.: Транспорт, 1980. – 592 с.
3. Руководство по техническому нормированию маневровой работы. – М.: Транспорт, 1972. – 60 с.

Надійшла до редколегії 22.05.2008.