

емств, так і між галузями економіки. Тому необхідна якісна і чітка робота транспортної системи: доставка вантажу „точно в строк”, оптимізація виробництва, автоматизація та спрощення оформлення перевізних документів [1]. Отже, питання оптимальної організації вагонопотоків на мережі залізниць є сьогодні дуже актуальним.

Час оборту вагону включає час на виконання основних стадій перевізного процесу: навантаження, формування, прямування у складі поїзду, переробка на технічних станціях, розформування, вивантаження та чекання виконання цих операцій. Аналіз часу оборту вказує, що значно меншу частину часу складає час руху, тому для прискорення доставки вантажу необхідно скоротити простої на технічних станціях.

Сортувальні станції на сьогодні завантажені на 40-70% при зменшенні їх кількості на 30%. Концентрація сортувальної роботи на меншій кількості станцій дозволить скоротити простої вагонів на станціях, зменшити експлуатаційні витрати за рахунок зменшення кількості станцій, впровадити передові засоби автоматизації та механізації. Слід зазначити, що провідні західні країни в 70-і роки ХХ ст. сконцентрували сортувальну роботу на технічно озброєних станціях, скоротивши загальну кількість станцій на 30-50%.

При визначенні оптимальної кількості сортувальних станцій пропонується виконувати рішення в три етапи:

- 1) побудувати екстремального графу на мережі залізниць за різними критеріями;
- 2) для отриманих варіантів розташування сортувальних станцій на мережі залізниць розрахувати план формування поїздів із застосуванням теорії нечітких множин (оскільки при закритті кожної сортувальної станції виникає велика кількість варіантів перерозподілу сортувальної роботи між іншими станціями);
- 3) формалізувати конфігурацію мережі залізниць як моделі цілочисельного програмування [2].

Визначення раціональної кількості сортувальних станцій на мережі шляхом моделювання без попередніх етапів практично неможливо оскільки система обмежень не має жорстко фіксованих значень, тому що переробна спроможність станції при розрахунках може коливатися у певному діапазоні в залежності від можливих варіантів реконструкції кожної станції. На вибір варіанту реконструкції впливає кількість станцій та їх взаєморозташування на мережі. Таким чином, система обмежень цільової функції F і результати моделювання зворотно пов'язані між собою.

Мережу залізниць України можна представити у вигляді зважено-

го графу $G = (V, R)$, вершинами якого є сортувальні станції $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$, а ребрами – дільниці, що примикають, $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$. Вага кожної вершини і ребра обирається залежно від мети моделювання і виражає якісні та технічні характеристики.

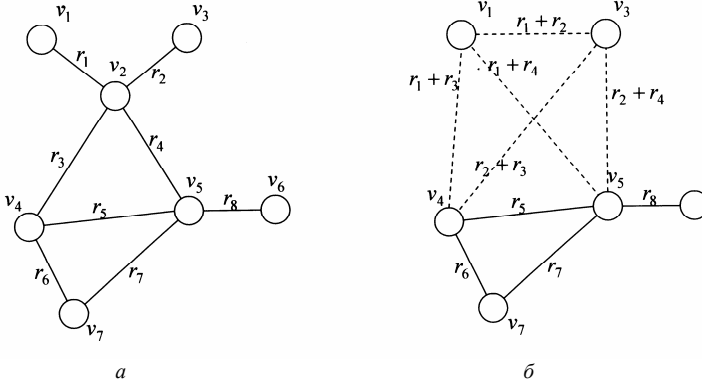
Для знаходження раціональної схеми розташування сортувальних станцій на першому етапі необхідно визначити варіантні схеми розташування станцій на мережі, тобто перетворити за різними критеріями у графу G' . З метою оцінки ваги, що надається ребрам та вершинам зваженого графу необхідно проаналізувати технічне забезпечення станцій, можливі варіанти їх розвитку, структури та нерівномірність вагонопотоків, спрогнозувати обсяги перевезень на розрахунковий період, скласти схеми кореспонденції вагонопотоків, визначити обсяги обов'язкової переробки.

Граф G необхідно перетворити у граф G' „викресливши” зайві вершини (сортувальні станції при цьому не використовуються для сортувальної роботи і переходять у інший клас чи консервуються); ребра графу, які поєднувались з цією вершиною об'єднуються з найближчими ребрами (рисунок). Слід зазначити, що ця задача недостатньо розглянута в математиці, а відомі роботи [3, 4] базуються на положенні, що кожна вершина „виконує роботу” у певному радіусі. Розташування сортувальних станцій не залежить від площин територій, які вони обслуговують, а залежить від обсягу мінімальної (обов'язкової) переробки. Обсяг мінімальної переробки складається з вагонопотоків: що зароджується у зоні станції – на самій станції та на прилеглих дільницях; що надійшов у її зону – вагони безпосередньо на цю станцію та на прилеглі дільниці.

При знаходженні раціональної кількості вершин графу вихідними даними є матриці суміжностей та інцидентності; з урахуванням складності поставленої задачі необхідно розглянути модифікації ваг для вершин та ребер графу:

- матриця ваг вершин μ_i , яка виражає вартість обробки, час обробки тощо;
- переробна спроможність вершин графу μ_i^T у вигляді матриці;
- матриця ваг ребер графу λ_{ij} , що виражає чисельно відстань, вартість перевезень чи іншу величину;
- матриця наявної пропускнуої спроможності ребер λ_{ij}^T ;

- інтенсивність вагонопотоків між вершинами графу a_{ij} (кількість вагонів, які прямують від станції i до j за одиницю часу);
- масив маршруту прямування вагонопотоку a_{ij} $M_{ij} = \{v_a, v_b, \dots, v_x\}$ (наприклад $M_{3\ 18} = \{v_3, v_7, v_8, v_{18}\}$ – вагонопотік з вершини 3 до вершини 18 прямує через вершини 7 і 8).



Фрагмент графу мережі залізниць:
a – базисний варіант; *б* – після скорочення вершини v_2 .

Обчислення починається з встановлення вершини, яка має найменшу вагу. Залежно від мети пошуку у якості цільової функції можливо приймати мінімальну кількість сортувальних станцій, простій на станціях, приведені витрати. Вершину з найменшою вагою виключаємо із графу. Обсяг мінімальної переробки $\sum a_{ij}$ перерозподіляється між суміжними вершинами у вигляді додаткового вагонопотоку a'_{ij} . Перевага при перерозподілі віддається попередній вершині по маршруту прямування з масиву M_{ij} чи суміжній вершині, вага ребра до якої λ_{ij} мінімальна.

За системою обмежень потрібно перевіряти достатність технічного рівня для виконання даної роботи

$$\mu_i^T \geq \sum a_{ij} + \sum a'_{ij}, \tag{1}$$

де a'_{ij} – вагонопотік з урахуванням корегування кількості станцій, на початку $a'_{ij} = 0$.

Якщо умова не виконується, то a'_{ij} переноситься на іншу граничну вершину згідно із зростанням λ_{ij} .

При усуненні вершини також поєднуються суміжні ребра і вага об'єднаного ребра λ_{ij}^o збільшується на λ'_{ij} , перевіряється можливість пропуску поїздів по дільниці:

$$\lambda_{ij}^o = \lambda_{ij} + \lambda'_{ij}; \quad (2)$$

$$\lambda_{ij}^T \geq k_\lambda \left(\sum a_{ij} + \sum a'_{ij} \right). \quad (3)$$

Тут k_λ – коефіцієнт, що враховує тип графіку, засоби автоматизації, кількість пасажирських поїздів тощо.

Враховуючи, що даний процес носить ітераційний характер, послідовність дій здійснюється до виконання умови закінчення пошуку – раціональної конфігурації мережі залізниць

$$\sum_{i=1}^{36} \frac{dF}{d\mu_i} \leq \delta, \quad (4)$$

де δ – похибка обчислень.

У процесі моделювання порівняння проходить на двох рівнях: спочатку на основі якісних показників, а потім перевіряється відповідність технічним засобам. Слід зазначити, що доцільно розширити пошук завдяки можливим варіантам технічного розвитку станцій і дільниць, у даному випадку при невиконанні обмежень 1 або 3 вони перевіряються з урахуванням перспективи розвитку.

Запропонована нами методика дозволяє знайти варіантні схеми розташування сортувальних станцій на мережі залізниць за різними критеріями, що дає можливість визначити за допомогою цільового функціоналу по приведеним витратам найкращий варіант і, відповідно, оптимізувати розподіл сортувальної роботи на мережі залізниць.

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К., 1998. – 367 с.

2. Сіконенко Г.М. Методика визначення оптимальної кількості та раціональної схеми розташування сортувальних станцій на мережі залізниць України // Збірник наукових праць УкрДАЗТу. Вип.53. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – С.29-35.

3. Fredman M.L., Tarjan R.E. Fibonacci heaps and their uses in improved network optimization algorithms. – N.Y.: Silver Spring, 1984. – P.338-346

4. Бурков В.Н. Прикладные задачи теории графов. – Тбилиси: Мецниерба, 1974. – 234 с.

Отримано 28.06.2004