

УДК 656.211.3:656.211.5

БУТЬКО Т.В., д.т.н., професор, (ХАРДАЗТ. м. Харків);
 СКАЛОЗУБ В.В., д.т.н., професор, (ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна);
 ПРОХОРЧЕНКО А.В., к.т.н., доцент, (ХАРДАЗТ. м. Харків);
 ПАНІК Л.О., ст. викл., (ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна).

Планування поїздок в транспортних системах з пересадками з урахуванням спеціалізації вимог пасажирів

Вступ

Процес планування пасажиропотоків з пересадками у залізничних транспортних мережах ускладнений нерівномірністю пасажиропотоків у часі та просторі. Для реалізації цього потрібно проведення досліджень завантаження інфраструктури залізничних вокзалів і станцій при змінах розмірів руху пасажирських поїздів. При плануванні необхідно заздалегідь визначити станції пересадки пасажиропотоків та категорії пасажирських поїздів, для яких слід передбачити ув'язку часу прибуття та відправлення в графіках руху. В математичному сенсі тут виникає задача оптимізації розподілу потоків в багатопродуктових мережах [1]. Разом з цим у роботі запропоновано узагальнену модель планування поїздок з пересадками, яка ураховує неоднорідність вимог пасажирів до процесу перевезень.

Модель планування залізничних поїздок з пересадками

Завдання із удосконалення моделювання розподілу пасажиропотоків по поїздах з пересадками полягає у наступному. Залізнична мережа представляється у вигляді орієнтованого графу $G(E, A)$, де вершини E мережі відповідають станціям формування та оберту пасажирських поїздів, а орієнтовані ребра A фізичного графу відповідають можливим напрямкам призначення пасажирських поїздів. Величина інтенсивності пасажиропотоку (кіль-

кість пасажирів, що прямують по кожному із напрямків за встановлений період, наприклад, добу) для кожного r -того напрямку, який прямує з джерел s^r до стоків t^r , відома і дорівнює f^r . Позначимо, через x_{ij}^r - потік по дузі A_{ij} , що відповідає числу пасажирів, які прямують із станції i до станції j r - тим напрямком поїздів. Нехай c_{ij}^r - це вартість перевезення одиниці потоку (пасажира) із станції i до станції j для r - того напрямку поїздів, в яку входить і вартість за пересадку для деяких станцій. Тоді математична модель оптимального планування поїздок з пересадками буде мати вигляд:

$$\sum_r \sum_i \sum_j c_{ij}^r x_{ij}^r \rightarrow \min \quad (1)$$

при обмеженнях:

$$\sum_j x_{ij}^r - \sum_j x_{ji}^r = -f^r, i \in s^r, r = 1, 2, \dots, R \quad (2)$$

$$\sum_j x_{ij}^r - \sum_j x_{ji}^r = 0, i \notin E_s, j \in E_t, r = 1, 2, \dots, R \quad (3)$$

$$\sum_j x_{ji}^r - \sum_j x_{ij}^r = f^r, i \in t^r, r = 1, 2, \dots, R \quad (4)$$

$$0 \leq \sum_r x_{ij}^r \leq U_{ij}, (i, j) \in A. \quad (5)$$

В цій моделі U_{ij} це пропускна здатність ребра (i, j) , тобто число місць в поїздах, які прямують зі станції i до станції j .

Для прикладу розглянуто логічний граф мережі G наступного вигляду [1]:

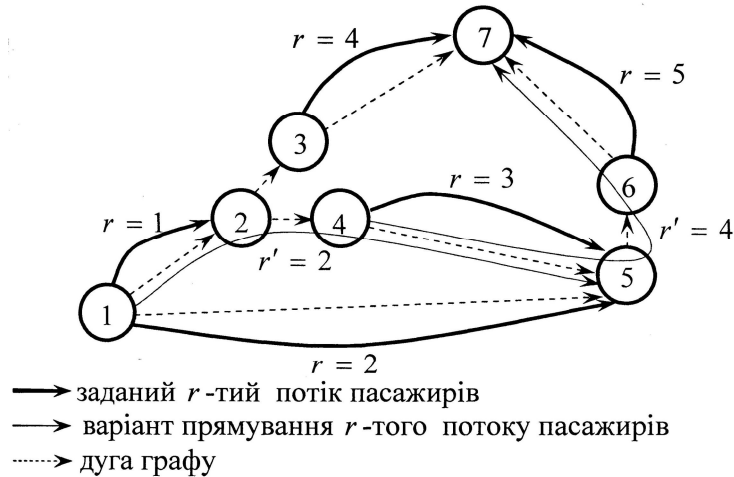


Рис1. Логічний граф мережі G .

У графі вузли – це станції, що занумеровані, пропускні здатності кожної дуги відомі і дорівнюють наступним умовним параметрам:

Пропускні здатності U_{ij} дуг X_{ij}						
X_{12}	X_{15}	X_{24}	X_{37}	X_{45}	X_{56}	X_{67}
4	4	7	3	7	7	8

Тут X_{ij} - позначка дуги, яка зв'язує вершину i з вершиною j , для якої пропускна здатність – це U_{ij} .

Вартості перевезення одиниці потоку (пасажира) по дугах становлять:

Вартості перевезення C_{ij} одиниці потоку по дугах X_{ij}						
X_{12}	X_{15}	X_{24}	X_{37}	X_{45}	X_{56}	X_{67}
4	4	7	3	7	7	8

Для вирішення завдання (1)-(5) у [1] був використаний метод рою часток, який дав результати, подані на рис. 2, де показані пасажиропотоки по напрямках транспортної мережі:

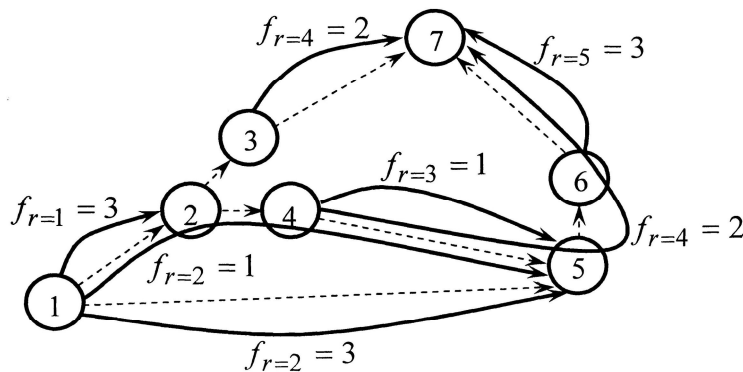


Рис 2. Оптимальний варіант розподілу пасажиропотоків по напрямкам транспортної мережі.

При цьому значення функції цілі (мінімальна вартість перевезення) дорівнює 293 у.о.

Планування мережі перевезень при урахуванні неоднорідності вимог пасажирів до транспортної

Урахування вимог пасажирів, їх неоднорідність, суттєво змінює зміст і складність завдань планування. У цих випадках виникають моделі планування із індивідуальними властивостями елементів [2]. Для нового класу завдань, що ураховують індивідуальні властивості (ІВ) носіїв потоку, метод рою [1] часток уже не може бути використаний безпосередньо, через значну кількість додаткових обмежень моделі. Сутність спеціалізації вимог пасажирів для моделі (1)-(5) полягає в урахуванні категорій пасажирів (місця у вагонах різних типів: плацкарт, купейний та інші). Вирішення оптимізаційних завдань, подібних (1)-(5) з урахуванням ІВ, виконується за допомогою методу редукції – шляхом збільшення кількості станів моделі планування [3]. Побудуємо економіко-математичну модель планування поїздок з пересадками, яка розширює (1)-(5) за рахунок обліку неоднорідності вимог пасажирів.

При плануванні маємо залізничну мережу у вигляді орієнтованого графу $G(E, A)$. Величина інтенсивності пасажиропотоку для кожного типу вагонів k , для кожного r – того напрямку, який прямує з джерела s^r до стоку t^r , відома і дорівнює f^{rk} . Позначимо, через x_{ij}^{rk} - потік по дузі A_{ij} , що відповідає числу пасажирів, які прямують із станції i до станції j r - тим напрямком поїздів в k - тому типі вагону, також нехай c_{ij}^{rk} - це вартість перевезення одиниці потоку (пасажира) із станції i до станції j для r - того напрямку поїздів та k - того типу, в яку входить і вартість за пересадку для деяких станцій. Тоді математична модель планування з урахуван-

ням неоднорідності елементів потоку буде мати вигляд:

$$\sum_r \sum_k \sum_i \sum_j c_{ij}^{rk} x_{ij}^{rk} \rightarrow \min \quad (6)$$

при обмеженнях:

$$\sum_k \sum_j x_{ij}^{rk} - \sum_k \sum_j x_{ji}^{rk} = -f^{rk}, i \in s^r, r=1,2,\dots,R \quad (7)$$

$$\sum_k \sum_j x_{ij}^{rk} - \sum_j x_{ji}^{rk} = 0, i \notin E_s, j \in E_t, r=1,2,\dots,R \quad (8)$$

$$\sum_k \sum_j x_{ji}^{rk} - \sum_k \sum_j x_{ij}^{rk} = f^{rk}, i \in t^r, r=1,2,\dots,R \quad (9)$$

$$0 \leq \sum_r x_{ij}^{rk} \leq U_{ij}^k, (i, j) \in A, k = 1,2,\dots,K. \quad (10)$$

В цій моделі U_{ij}^k це пропускна здатність ребра (i, j) , тобто число місць в поїздах, які прямують зі станції i до станції j в k - тому типі вагону.

На відміну від моделі (1)-(5) кількість обмежень моделі (6)-(10) збільшується на порядок, таким чином використовувати метод рою часток буде складно і не ефективно. Економіко-математична модель з ІВ (6)-(10) відноситься до класу задач лінійного програмування і для вирішення цієї задачі може бути використаний симплекс-метод.

Реалізація моделі поїздок з пересадками з урахуванням неоднорідності вимог пасажирів

Для прикладу був розглянутий той же фізичний граф, рис. 1, в цьому графі по r - тим напрямкам пересуваються пасажирів, які відносяться до двох категорій: пасажирів купейних та плацкартних вагонів. Для кожної дуги графу також відомі пропускні здатності щодо кожної категорії пасажирів:

Пропускні здатності U_{ij} дуг X_{ij} по категоріям пасажирів							
	X_{12}	X_{15}	X_{24}	X_{37}	X_{45}	X_{56}	X_{67}
Плацкарт	1	4	7	3	7	7	8
Купе	4	4	7	3	7	7	8

Як і для задачі (1)-(5), відомі вартості перевезення одиниці потоку (пасажирів) по категоріях пасажирів:

Вартості перевезення C_{ij} одиниці потоку по дугах X_{ij}							
	X_{12}	X_{15}	X_{24}	X_{37}	X_{45}	X_{56}	X_{67}
Плацкарт	10	30	5	20	11	2	14
Купе	11	34	7	27	13	3	18

При вирішенні цієї задачі будемо мати такі результати щодо пасажиропотоків по напрямкам; в моделі відзначено послідовність дуг X_{12} - X_{24} - X_{45} , які належать до напрямку $r' = 2$ на рис. 1:

Пасажиропотік по напрямкам (плацкарт)						
X_{12}	X_{12} - X_{24} - X_{45}	X_{15}	X_{45}	X_{37}	X_{45} - X_{56} - X_{67}	X_{67}
1	0	2	1	2	2	3

Пасажиропотік по напрямкам (купе)						
X_{12}	X_{12} - X_{24} - X_{45}	X_{15}	X_{45}	X_{37}	X_{45} - X_{56} - X_{67}	X_{67}
2	2	0	0	0	0	0

Загальна мінімальна вартість перевезення пасажирів різних категорій також має значення: 293 у.о. По цьому результаті слід відзначити, що хоча загальна величина цільової функції, як оцінки оптимальності перевезення пасажирів, не змінилася у порівнянні з результатами задачі (1)-(5), але відбулося розділення потоку по категоріях пасажирів.

Результати розрахунків із планування пасажиропотоків з ІВ та з урахуванням пересадок довели, що введення у моделі (6) – (10) для кожної дуги графу окремих обмежень на пропускну здатність по різних типах вагонів, призводить до розділення потоку за категоріями пасажирів, і за допомогою цього можливо мати різні маршрути пересування одиниць потоку, в залежності від категорії, тобто вимог до перевезень. Разом з тим, в загальному випадку можливі інші форми обмежень (10),

при яких отриманий вище розподіл потоків пасажирів може не виконуватися. Застосування процедури редукції розмірності моделі оптимального планування, зрозуміло, приводить до зростання складності чисельної реалізації, але зараз для лінійних моделей, подібних (6) – (10), це не являється суттєвою перешкодою. Більш важливим є гарантоване забезпечення розрахунку параметрів глобального оптимуму.

Висновки

Запропонована удосконалена модель оптимального планування поїздок з пересадками з урахуванням неоднорідності вимог пасажирів до якості послуг транспортної мережі. Показано, що використання процедури редукції дозволяє застосовувати методи лінійного програмування

для ефективної чисельної реалізації завдань планування поїздок з пересадками.

Література

1. Бутько Т.В., Прохорченко А.В. Формування моделі організації пасажиропотоків при здійсненні пересадок на залізничному вокзалі з використанням колективного інтелекту // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010 - №2 – С.57-67.

2. Скалозуб В.В., Паник Л.А., Блохін Є.С. Развитие многопродуктовых и многокритериальных моделей потоковых задач с учетом специализации носителей потоков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. №4, 2011. С.7-11.

3. Скалозуб В.В., Андрющенко В.О., Солтисюк О.В. Моделирование про-

цесів оптимального планування вантажних перевезень вагонними парками різних форм власності // Системні технології, №1 – Дніпропетровськ, 2007. С.138-150.

Анотації:

В статті предложена усовершенствованная модель оптимального планирования поездов с пересадками с учетом неоднородности требований пассажиров к качеству услуг транспортной сети

У статті запропонована удосконалена модель оптимального планування поїздок з пересадками з урахуванням неоднорідності вимог пасажирів до якості послуг транспортної мережі

In the presented article offered the model of the optimum planning of journeys is improved with transplantsations taking into account heterogeneity of requirements of passengers to quality of services of a transport network