

УДК 656.072:001.573

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ПО ПОЇЗДАМ НА ОСНОВІ КОЛЕКТИВНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Т.В. Бутько

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Кафедра «Управління експлуатаційною роботою»
Контактний тел.: (057) 730-10-89

А.В. Прохорченко

Кандидат технічних наук, старший викладач
Кафедра «Управління експлуатаційною роботою»
Контактний тел.: (057) 730-10-88

О.О. Журба

Аспірант*
Контактний тел.: (057) 730-10-88

*Українська державна академія залізничного транспорту
майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

В роботі розглядаються питання удосконалення організації пасажирських перевезень в дальньому та місцевому сполученнях на основі моделювання різних варіантів проїзду пасажирів в поїздах з урахуванням пересадок на залізничних вокзалах. Для рішення поставленої задачі використано автономну емерджентну PSO-систему (Particle swarm optimization), перевагою якої є швидкість знаходження рішення для транспортної мережі великої розмірності

Ключові слова: пасажирські перевезення, моделювання пасажиропотоків, система рою часток, колективний інтелект, план формування пасажирських поїздів

В работе рассматривается вопрос усовершенствования организации пассажирских перевозок в дальнем и местном сообщениях на основе моделирования разных вариантов проезда пассажиров в поездах с учетом пересадок на железнодорожных вокзалах. Для решения поставленной задачи использована автономная эмерджентная PSO-система (Particle swarm optimization), преимуществом которой есть нахождение решения для транспортной сети большой размерности

Ключевые слова: пассажирские перевозки, моделирование пассажиропотоков, система рою частиц, коллективный интеллект, план формирования пассажирских поездов

In the article were discussed improvements for passenger transport in long-distance and local communications on the basis of simulation of different options for passengers in trains, taking into account transfers at railway stations. To solve this problem used offline emergent PSO-system (Particle swarm optimization), an advantage which is finding solutions to the transport network of large dimension.

Keywords: passenger transport, passenger flow simulation, particle swarm system, swarm intelligence, plan the formation of passenger trains

1. Вступ і актуальність задачі

В умовах світової інтеграції транспортних систем та зростання конкуренції на ринку пасажирських перевезень потребують вирішення задачі управління пасажирським комплексом на основі застосування якісно нових підходів до реалізації системи освоєння пасажиропотоків. Практичний інтерес для залізниць України, особливо в умовах проведення Євро-2012,

представляє досвід роботи концерну Deutsche Bahn AG на залізницях Німеччини, що здійснює планування пасажирських перевезень з урахуванням типових варіантів пересадки пасажиропотоків [1].

Такий підхід дозволяє підвищити ефективність організації перевезень та якість обслуговування пасажирів за рахунок можливості реалізації подорожі з різними варіантами пересадки тривалістю до п'яти хвилин.

2. Постановка задачі

Процес планування пересадки ускладнюється нерівномірністю пасажиропотоків в часі та просторі, що потребує проведення досліджень завантаження інфраструктури залізничних вокзалів і станцій в умовах зміни розмірів руху пасажирських поїздів. За таких умов необхідним є визначення заздалегідь станцій пересадки пасажиропотоків та категорій пасажирських поїздів для яких слід передбачити в графіку руху ув'язку часу прибуття та відправлення. Вирішення поставленої задачі можливе за рахунок моделювання розподілу пасажиропотоків по поїздам на основі "bio-inspired" моделей, природа яких відповідає природі процесів, що виникають в транспортній системі. В межах аналізу досліджень в області колективного інтелекту в роботі для моделювання процесу вибору варіанта поїздки пасажирів з урахуванням пересадки запропоновано використати автономну емерджентну PSO-систему (Particle swarm optimization) [2], що побудована на основі концепції рою часток та моделює поведінку агентів в групі.

3. Вирішення задачі

Задачу моделювання пасажиропотоків по поїздам на концептуальному рівні можна описати наступним чином. Задано залізничну мережу у вигляді орієнтованого графу $N(E,R,A)$ [3], де вершини E графу мережі відповідають станціям формування та обертву пасажирських поїздів, а орієнтовані ребра R фізичного графу відповідають можливим напрямкам призначення пасажирських поїздів. Кожне ребро R фізичного графу мережі N представляється двома орієнтованими дугами A_{ij}, A_{ji} для прямого та зворотнього напрямків відповідно. Позначимо через f_{rs} інтенсивність пасажиропотоку із джерела E_r у стік E_s , а через $x_{ij}^{r,s}$ - потік по дузі A_{ij} , що відповідає числу пасажирів із r в s , які прямують поїздом із i в j . Для врахування залежності пасажиропотоків f_{rs} від часу запропоновано в межах планового періоду T виділити характерні інтервали $t=1,2,\dots,T$, які визначаються сезонним фактором та характеризуються відносно стабільним потоком пасажирів, що отриманий за прогнозом. Так як для кожного інтервалу t станції зародження та погашення струменів пасажиропотоків задані, то для кожного вузла мають місце умови збереження потоків

$$\sum_i x_{ij}^{r,s} - \sum_k x_{j,k}^{r,s} = \begin{cases} -f_{rs}, & \text{О I} > j=r, \\ 0, & \text{О I} > j \neq r,s, \\ f_{rs}, & \text{О I} > j=s, \end{cases} \quad (1)$$

Крім структурних обмежень (1) на розподілення пасажиропотоків в мережі накладаються кількісні обмеження, що обумовлені провізною здатністю дуг мережі

$$\sum_{rs} |f_{rs}| \leq y_{ij}, \quad (\text{для всіх } i, j), \quad (2)$$

де y_{ij} - число місць в поїздах із i в j . При цьому слід вважати, що розрахункова мережа є допустимою для встановлених вимог y_{ij} інакше задача не буде мати рішення [3].

Позначимо через $d_{rs}(t)$ потрібну величину пасажиропотоку із джерела E_r у стік E_s в момент часу $t=1,2,\dots,T$. Умову, що мережа повинна бути здатна пропускати необхідні величини потоків у кожен момент часу, запишемо у вигляді

$$f_{rs} = d_{rs}(t). \quad (3)$$

Якщо пасажиропотік прямує за декількома маршрутами від i до j , то величина f_{rs} розподіляється на складові $f_{rs} = \sum_{k=1}^M f_{ij}^k$, де f_{ij}^k - доля потоку, що прямує по k -му маршруту.

Згідно до вище поставлених умов в роботі запропоновано спрощений варіант можливої експлуатаційної ситуації на полігоні мережі для двох інтервалів часу, рис. 1.

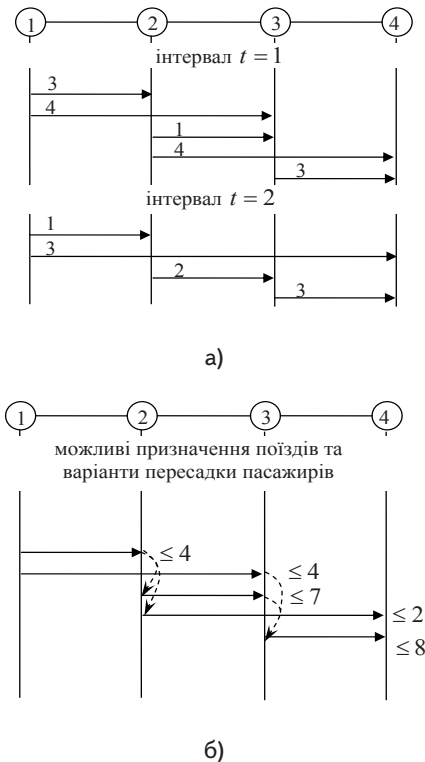


Рис. 1. Логічна (а) і фізична (б) структура мережі $N(E,R,A)$ для задачі моделювання розподілу пасажиропотоків

Система-PSO для моделювання пасажиропотоків розглядається як рій S , що складається з часток n ($S=1,2,\dots,n$) у d -вимірному дискретному просторі рішень [4]. Кожна частка являє собою потенційний варіант розподілу пасажиропотоків по поїздам, який змінюється в просторі пошуку на основі отриманих знань та обміну інформацією між сусідніми частками. Зміни в стані частки залежать від вектору швидкості V_k^i та вектору позиції X_k^i , які оновлюються за виразами

$$V_{k+1}^i \leftarrow V_k^i + c_1 r_1 \cdot (\hat{P}_k^i - X_k^i) + c_2 r_2 \cdot (\hat{G}_k^i - X_k^i), \quad (4)$$

$$X_{k+1}^i \leftarrow X_k^i + V_k^i, \quad (5)$$

де ωV_k^i – попередня швидкість виступає в ролі пам'яті частки (інерційний коефіцієнт $\omega < 1$); c_1, c_2 – позитивні константи прискорення, які використовуються для варіювання ваг когнітивного та соціального компонентів; r_1, r_2 – випадкові вектори на інтервалі $[0,1]$, що підтримують різні траєкторії часток при пошуку; \hat{P}_k^i – найкраща позиція i -ї частки з початку пошуку; \hat{G}_k – найкраща глобальна позиція, що була знайдена у рої S . Рух частки в двовимірному просторі наведено на рис. 2.

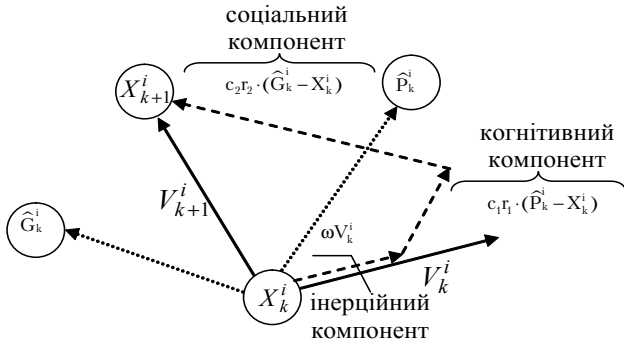


Рис. 2. Зміна швидкості та позиції частки при визначенні варіанту розподілу пасажиропотоку по поїздам

Рій поділений на групи за топологією “gbest” [5], де кожна частка використовує кращу позицію групи, в якій вона бере участь. Для пошуку оптимального варіанту розподілення потоку пасажирів в мережі $N(E,R,A)$ реалізований процес конкуренції, між частками в якому наступна найкраща персональна позиція частки i та глобальна позиція в межах всього рою розраховуються за виразами

$$\text{Якщо } (f(X_k^i) < \hat{P}_k^i), \hat{P}_{k+1}^i \leftarrow f(X_k^i), \tag{6}$$

$$\text{Якщо } (f(X_k^i) < \hat{G}_k^i), \hat{G}_{k+1}^i \leftarrow f(X_k^i), \tag{7}$$

де $f(X_k^i)$ значення функції якості f в точці X_k^i .

Інтереси групи та окремо кожної частки описуються цільовою функцією, що визначає стратегію розподілення пасажиропотоку по поїздам за умови мінімуму витрат на перевезення та пересадки пасажирів. Для врахування вище наведених обмежень задачі (1-3) варіант розподілу пасажиропотоку по поїздам може бути оцінений на основі цільової функції безумовної мінімізації

$$f(X_k^i) = \sum_k A_k^{i-1} x_{ijk} + \sum b_{ij}^E x_{ijk} + \sum_{q=1}^N \lambda_q (g_q(x))^{n_q} \rightarrow \min \tag{8}$$

де x_{ijk} – число пасажирів із i в j , що подорожують в поїзді k ; c_k^{i-1} – вартість перевезення одиниці потоку на k -му призначені пасажирських поїздів, що курсують на момент розрахунків; b_{ij}^E – вартість пересадки одиниці пасажиропотоку на станціях зміни пасажиропотоку E ; λ – параметр штрафної функції, $\lambda > 0$; $g_q(x)$ – обмеження задачі 1-3, $q \in Q$.

На початку функціонування PSO-системи ініціалізується рій S ($n = 30$) [5] і керовані параметри, при цьому, позиції часток обираються за виразом

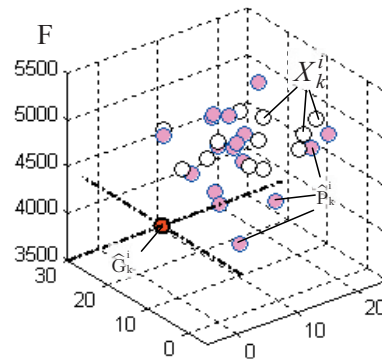
$$x_0^i = x_{\min} + \text{rand}(x_{\max} - x_{\min}), \tag{9}$$

де x_{\max}, x_{\min} – верхні та нижні значення кожного виміру.

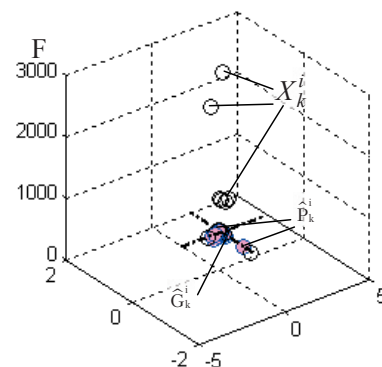
Рішення поставленої задачі складається з двох складових – рішення основної задачі для першого інтервалу часу та допоміжної задачі для другого інтервалу. В межах практичної реалізації в середовищі Matlab було проведено розрахунки щодо моделювання розподілу пасажиропотоків по поїздам. Перший етап задачі був розв'язаний згідно до поставлених умов 1-3 (рис. 3). Ілюстрація процесу зміни позицій часток наведена на рис. 4.



Рис. 3. Графік зміни цільової функції при знаходженні рішення задачі



a)



b)

Рис. 4. Позиції часток рою в тривимірному просторі рішень на початку знаходження варіанту розподілу пасажиропотоків після 100 ітерацій роботи PSO-системи (a) та на момент знайденого оптимального рішення після 300 ітерацій (б)

Суть рішення допоміжної задачі ґрунтується на знайденому розподілі пасажиропотоків для першого

інтервалу часу $x_{ijk}^{t=1}$ за умови врахування вартості перевезення одиниці пасажиропотоку в поїздах, що знаходяться в обігу на момент розрахунків та збільшення вартості перевезення одиниці потоку при введенні додаткових перевізних засобів для освоєння прогнозних об'ємів перевезень на інтервалі $t=2$. За таких умов потребує зміни обмеження на провізну здатність дуг мережі

$$\sum_{rs} |f_{rs}^i| \leq x_{ijk}^{t=1} + I_k^{t=2}, \quad (10)$$

де $I_k^{t=2}$ – невідома змінна, що визначає необхідну додаткову кількість місць в k -му призначенні пасажирського поїзда для освоєння заданих обсягів пасажиропотоків на інтервалі $t=2$.

Цільова функція для інтервалу $t=2$ має вид

$$f(X_k^i) = \sum c_k^{t=1} x_{ijk} + \sum b_{ij}^E x_{ijk} + \sum c_k^{t=2} I_k + \sum_{q=1}^N \lambda_q (g_q(x))^{n_q} \rightarrow \min \quad (11)$$

де $c_k^{t=2}$ – вартість перевезення одиниці потоку з врахуванням введення додаткових перевізних засобів на призначенні k для освоєння попиту на перевезення в інтервал $t=2$. $g_q(x)$ – обмеження задачі (1,3,10), $q \in Q$. Результати обчислень наведені на рис. 5.

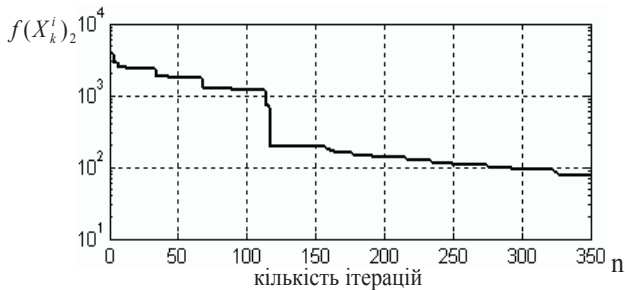


Рис. 5. Графік зміни цільової функції при знаходженні рішення допоміжної задачі

Рішення поставленої задачі для двох інтервалів планового періоду дозволяє поєднати знайдені варіанти розподілу пасажиропотоків для визначення плану формування пасажирських поїздів з позиції пристосування до попиту на перевезення, рис. 6.

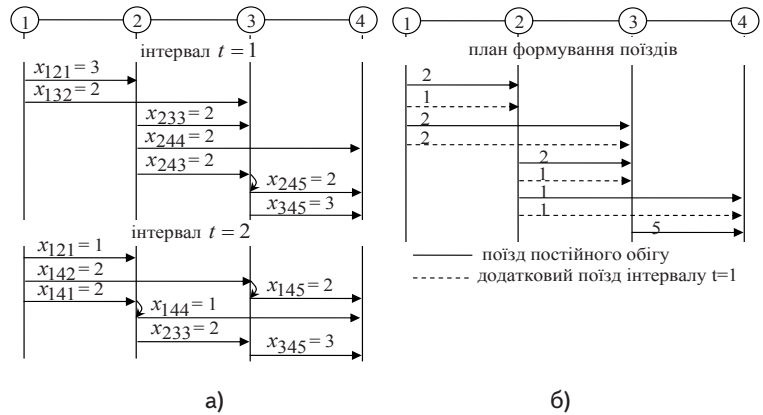


Рис. 6. Розрахунковий варіант розподілу пасажиропотоків по поїздам для першого та другого інтервалів (а), та раціональний план формування поїздів для планового періоду (б)

4. Висновки

Запропонована PSO-система для моделювання розподілу пасажиропотоків доводить перспективність застосування моделей на основі колективного інтелекту для формалізації гнучкої технології організації пасажирських перевезень, що дозволить залізницям в умовах значних коливань пасажиропотоків надавати транспортні послуги з мінімальними витратами ресурсів та підвищити якість обслуговування.

Література

1. Heike Link. PEP – A Yield-Management Scheme for Rail Passenger Fares in Germany / Heike Link // Japan Railway & Transport Review (March), No.38, 2004.– P. 50–55
2. Eberhart R., Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory // Symposium on Micro Machine and Human Science: Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro machine and Human Science. – Nagoya: IEEE Service Center, 1995. – P. 39–43.
3. Ху Т. - Целочисленное программирование и потоки в сетях /пер. с англ. М. Мир 1974г. 519 с.
4. Субботін С.О., Олійник А.О., Олійник О.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія / Під заг. ред. С.О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.
5. T.Krink, J.Vesterstr m, and J.Riget, Particle Swarm Optimization with Spatial Particle Extension, To appear in: Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, 2002 (CEC 2002).