

Г. І. ФАЛЕЦЬКА, канд. техн. наук, доц., Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетові

АЛГОРИТМ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ ПАСАЖИРСЬКИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ МІЖ АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ВАРІАНТАМИ ШЛЯХУ ПЕРЕСУВАННЯ

Розроблено алгоритм моделі розподілу кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування. В якості характеристик альтернатив враховано витрати часу на здійснення пересування, вплив транспортної стомлюваності та рівень тарифів на послуги маршрутного пасажирського транспорту.

Ключові слова: алгоритм, розподіл кореспонденцій, шлях пересування, пасажиропотік, узагальнена вартість пересування.

Вступ. Міський пасажирський транспорт як одна із соціально значущих галузей міського господарства відіграє значну роль у забезпеченні якості життя міського та приміського населення.

Вирішення різних завдань організації пасажирських перевезень ґрунтується на визначенні величин пасажиропотоків, в основі формування яких лежать рішення, які приймають пасажирів при виборі шляху пересування. В результаті того, як пасажирів обирають шлях пересування формується розподіл кореспонденцій між альтернативними варіантами здійснення пересування. Від повноти врахування закономірностей вибору пасажирів шляху пересування при моделюванні пасажиропотоків на маршрутах міського пасажирського транспорту залежить точність розрахунку, а отже, й обґрунтованість рішень щодо удосконалення перевізного процесу.

Зважаючи на вказане, розробка моделі розподілу кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування, що враховує особливості цього процесу є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Достовірні дані про кореспонденції пасажирів між різними пунктами міста можуть бути отримані внаслідок проведення суцільного або вибіркового анкетного обстеження пересувачів населення міста [1, 2].

Натурні обстеження дають змогу одержати найбільш достовірні дані на момент їхнього проведення, що робить їх незамінними при вирішенні завдань поточного планування й оперативного управління пасажирськими перевезеннями. Для вирішення завдань прогнозування, тим більше довгострокового, використання натурних обстежень може бути недостатньо, тому що вони дають «фотографію» існуючих пасажиропотоків (кореспонденцій) [2]. Так само до недоліків натурального підходу варто віднести високу трудомісткість проведення й обробки матеріалів обстеження [3].

Унаслідок цього дослідники при вирішенні питань, що передбачають внесення змін у структуру маршрутної мережі, найчастіше застосовують

моделювання процесу формування пасажиропотоків [1–3]. Метою такого моделювання є створення достатньо адекватних правил (алгоритмів) перетворення входів системи (планувальна структура міста, соціально-економічні характеристики населення, характеристики розглянутого варіанта транспортного обслуговування) на її виходи (загальноміські та маршрутні кореспонденції, пасажирські потоки на всіх елементах транспортної мережі) [4].

До переваг модельного підходу відносять наступні [5]: можливість оцінки різних варіантів транспортної системи; модель дає змогу задавати різні умови формування пасажиропотоків, у тому числі й екстремальні, не завдаючи шкоди інтересам пасажирів; експерименти на моделі значно дешевші за натурні обстеження та можуть проводитися в мінімальний термін; модель дає змогу здійснювати експерименти із системами перевезень, які ще не створені, а лише проектуються.

Найбільш складним питанням транспортного проектування, що вносить основну частку невизначеності у транспортний розрахунок і визначає основну частку помилки розрахунку кореспонденцій, є розподіл пасажиропотоків транспортною мережею. При загальній похибці розрахунку сумарного обсягу перевезень близько 15–20 % похибка розподілу пасажиропотоків ділянками мережі може досягати 100 % і більше [2].

Завдання вивчення і прогнозування пасажиропотоків має як наукову, так і практичну значущість [5]. Із практичної точки зору вирішення цієї проблеми дає змогу визначити очікуваний пасажиропотік і на цій основі розраховувати технічні й експлуатаційні показники функціонування маршрутів [5].

Наукова мета вирішення завдання вивчення і прогнозування пасажиропотоків полягає в дослідженні впливу різних факторів на формування пасажиропотоку [5].

Разом із тим, створення методів надійного прогнозування потреб населення в пересуваннях, з одного боку, обумовлено основними складнощами в розв'язанні транспортних проблем міст [14]. Це пов'язано з тим, що методи транспортного прогнозування мають істотні недоліки, обумовлені не тільки станом теорії міських пасажирських перевезень, але й недостатньо розробленими розділами загальної прогностики, соціологічних теорій поведінки окремих людей і колективів [10].

Із другого боку, труднощі математичного опису причинно-наслідкових зв'язків процесу формування пасажирських потоків пов'язані з такими властивостями транспортної системи, які дають змогу віднести її до розряду складних [4]: стохастичність процесів формування пасажирських потоків, нестационарність і активність об'єкта управління.

Аналіз теоретичних і практичних підходів до моделювання вибору пасажиром шляху пересування [1-10] засвідчив, що в них недостатньо враховано поведінкові аспекти вибору пасажиром шляху пересування та сукупність факторів, які на них впливають. Зокрема недостатньо досліджено питання здійснення пасажиром пішохідного складника транспортного пересування (вибору зупинного пункту).

При моделюванні пасажиропотоків на маршрутній мережі міст слід враховувати факт погіршення характеристик шляху пересування для пасажирів при зростанні величини пасажиропотоку на його складниках. Існуючи методи

недостатньо повно враховують взаємозв'язок між попитом на використання шляху пересування та характеристиками комфортабельності пересування.

Значущість критеріїв вибору пасажирями шляху пересування згодом змінюється, що обумовлено сукупністю соціально-економічних факторів. Цей взаємозв'язок є недостатньо дослідженим та потребує подальшого вивчення.

Метою роботи є розробка алгоритму моделі розподілу кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування.

Методика розробки алгоритму моделі розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування. Схема алгоритму моделі розподілу кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування наведена на рис. 1.

У алгоритмі (рис. 1) прийнято наступні позначення: 1 - початок; 2 - уведення вхідних даних; 3 - визначення поточного номера шляху пересування; 4 - визначення часу пішого підходу пасажирів до зупиночного пункту; 5 - розрахунок показника функціонального стану пасажирів після здійснення пішого підходу; 6 - визначення поточного номера маршрутної поїздки; 7 - визначення часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупинному пункті; 8 - розрахунок показника функціонального стану пасажирів наприкінці часу очікування; 9 - визначення часу здійснення маршрутної поїздки пасажирів; 10 - розрахунок показника функціонального стану після здійснення маршрутної поїздки; 11 - перевірка (розглянуто всі маршрутні поїздки?); 12 - визначення витрат часу на здійснення пересадки; 15 - розрахунок показника функціонального стану пасажирів після здійснення пересування; 16 - визначення витрат часу на пересування; 17 - розрахунок відсотка зниження продуктивності праці пасажирів внаслідок пересування; 18 - розрахунок зниження доходу пасажирів внаслідок впливу транспортної стомлюваності; 19 - розрахунок сумарної плати за проїзд при здійсненні пересування; 20 - розрахунок узагальненої вартості пересування за шляхом; 21 - перевірка (розглянуто всі варіанти шляху пересування?); 22 - визначення шляху пересування, що є мінімальним за узагальненою вартістю пересування; 23 - визначення відхилення узагальненої вартості пересування від найкоротшого; 24 - Розрахунок частки кореспонденції, що буде реалізована за кожним шляхом пересування; 25 - виведення результатів розрахунку; 26 - кінець.

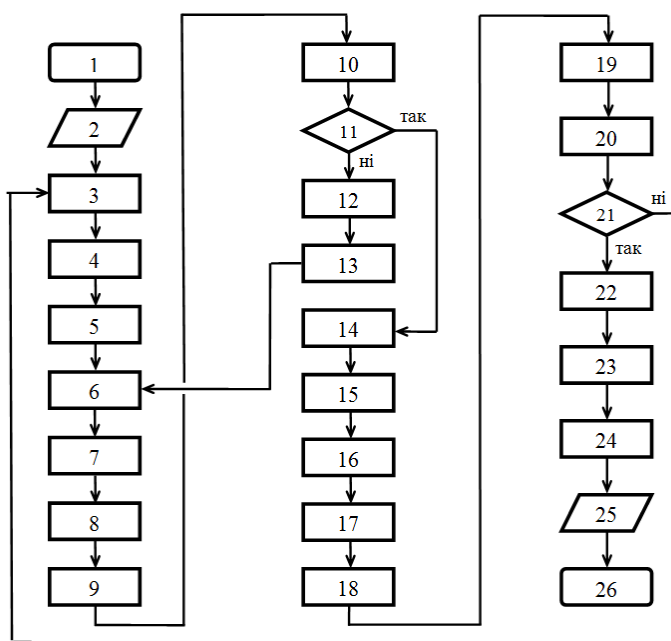


Рис. 1 – Алгоритм моделі розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування

На першому етапі моделювання виконується введення вихідних даних для альтернативних варіантів

шляху пересування (рис. 1, блок 2).

У якості вхідних даних для моделювання пасажиропотоків використовуються параметри, що характеризують соціально-економічні умови життя населення, параметри перевізного процесу на маршрутах, що входять до шляху пересування, і величина встановленого тарифу для цих маршрутів.

До параметрів маршрутів міського пасажирського транспорту належать такі показники: траса маршруту; час обороту транспортних засобів на маршруті, хв.; кількість транспортних засобів, що працюють на маршруті в годину «пік», од.; пасажиромісткість транспортних засобів, пас.; швидкість сполучення, км/год; середнє квадратичне відхилення від планового інтервалу, хв.; тариф на перевезення, грн.

В якості показників, що характеризують пасажирів виділено наступні: дохід середньостатистичного пасажирів за місяць, грн.; функціональний стан пасажирів перед початком пересування, балів; вартість вільного часу пасажирів, грн./год.

Наступним етапом є визначення поточного номера шляху пересування (n_m^k), для якого проводяться обчислення (рис. 1, блок 3). Після цього розраховують показники, що характеризують піший підхід пасажирів до зупинного пункту, – час підходу та зміну функціонального стану пасажирів внаслідок його здійснення (рис. 1, блоки 4, 5).

Після розрахунку показників підходу пасажирів до зупинного пункту визначається поточний номер (n_m) маршрутної поїздки (рис. 1, блоки 6), а також характеристики її здійснення: час очікування пасажирів транспортного засобу на зупинному пункті, час здійснення маршрутної поїздки пасажирів та функціональний стан пасажирів після здійснення цих складників пересування (рис. 1, блоки 7 – 10). Після цього перевіряється умова:

$$n_m^k \geq N^k, \quad (1)$$

де n_m^k – поточний номер маршрутної поїздки; N^k – кількість маршрутних поїздок при здійсненні пересування по шляху k .

Якщо умова (1) не виконується, визначаються витрати часу на здійснення пересадки та зміни показника функціонального стану пасажирів внаслідок її здійснення (рис. 1, блоки 12, 13). Після цього визначається новий поточний номер маршрутної поїздки n_m^k+1 , і послідовність розрахунку показників здійснення наступної маршрутної поїздки повторюється.

У випадку якщо умова (1) виконується, тобто розглянуто всі маршрутні поїздки, визначається час пішого руху пасажирів від зупинного пункту до місця призначення та показник функціонального стану пасажирів внаслідок здійснення пересування (рис. 1, блоки 14, 15). У блоці 16 обчислюється час пересування шляхом складання витрат часу на здійснення складників пересування.

Використовуючи дані про функціональний стан пасажирів внаслідок здійснення пересування, розраховується відсоткове зниження продуктивності праці пасажирів (рис. 1, блок 17). На підставі цього визначається зниження доходу пасажирів внаслідок впливу транспортної стомлюваності (рис. 1, блок 18).

Сумарну плату за проїзд внаслідок здійснення пересування визначають як суму тарифів за маршрутними поїздками (рис. 1, блок 19). Узагальнена вартість пересування визначається за формулою:

$$C_{періj}^k = \left[\sum_{i,j} \frac{l_{niu}^k i(j)}{V_{niu}} + \sum_{z=1}^n \left(\frac{l_{mn}^z}{V_c^z} + \left(\frac{I_{nl}^z}{2} + \frac{\sigma_z^2}{2I_{nl}^z} + \frac{P_{від}^z}{1 - P_{від}^z} I_{nl}^z \right) \frac{1}{60} \right) + \sum_{z=1}^{n-1} t_n^z \right] C_{зод} + \frac{D_m(-0,0709 + 0,545(\Pi^k - 3)^2)}{D_{pm} 100} + \sum_{z=1}^n T^z, \quad (2)$$

де V_{niu} – середня швидкість пішохода, км/год; $l_{niu}^k i(j)$ – відстань пішого руху відповідно у транспортному районі відправлення i та прибуття j при здійсненні пересування по шляху k , км; l_{mn}^z – відстань маршрутної поїздки на z -му маршруті, км; V_c^z – швидкість сполучення на z -му маршруті, км/год; I_{nl}^z – плановий інтервал руху на маршруті z , хв.; σ_z – середнє квадратичне відхилення від планового інтервалу руху, хв.; $P_{від}^z$ – імовірність відмови пасажиру в посадці на зупинному пункті маршруту z ; D_m – дохід середньостатистичного пасажира за місяць, грн.; T^z – величина тарифу на маршруті z , грн.; D_{pm} – середня кількість робочих днів у місяці, дн.; Π^k – показник, що характеризує функціональний стан організму пасажира наприкінці здійснення пересування по шляху k , бали; n – кількість маршрутних поїздок у мережній, од.; t_n^z – час на пішохідний рух між зупинними пунктами при здійсненні пересадки, год.

У разі здійснення мережної поїздки узагальнені витрати пасажирів визначаються за такою формулою:

В разі здійснення маршрутної поїздки та формулою при мережній поїздки (рис. 1, блок 20).

$$C_{періj}^k = \left[\sum_{i,j} \frac{l_{niu}^k i(j)}{V_{niu}} + \sum_{z=1}^n \left(\frac{l_{mn}^z}{V_c^z} + \left(\frac{I_{nl}^z}{2} + \frac{\sigma_z^2}{2I_{nl}^z} + \frac{P_{від}^z}{1 - P_{від}^z} I_{nl}^z \right) \frac{1}{60} \right) + \sum_{z=1}^{n-1} t_n^z \right] C_u + \frac{D_m(-0,0709 + 0,545(\Pi^k - 3)^2)}{D_{pm} 100} + \sum_{z=1}^n T^z, \quad (3)$$

де n – кількість маршрутних поїздок у мережній, од.; t_n^z – час на пішохідний рух між зупинними пунктами при здійсненні пересадки, год.

Наступний етап – перевірка умови (рис. 1, блок 20):

$$k_m \geq K, \quad (4)$$

де k_m – поточний номер шляху пересування; K – кількість шляхів пересування, що мають розглядатися.

У разі невиконання умови (4) починається розгляд наступного шляху пересування, в іншому випадку – переходимо до розрахунку розподілу

пасажирських кореспонденцій за альтернативними варіантами шляху пересування (рис. 1, блоки 22 – 24).

Спочатку визначають шлях пересування, що є мінімальним за узагальненою вартістю пересування (рис. 1, блоки 22):

$$C_{nepij}^{min} = \min\{C_{nepij}^1, C_{nepij}^2, \dots, C_{nepij}^k\}. \quad (5)$$

Після цього для кожного з альтернативних шляхів розраховується відхилення узагальненої вартості пересування від найкоротшого шляху (рис. 1, блок 23) за формулою:

$$\Delta C_{nepij}^k = \frac{C_{nepij}^k - C_{nepij}^{min}}{C_{nepij}^{min}} 100\%, \quad (6)$$

де C_{nepij}^{min} – мінімальне значення узагальнених витрат на пересування між транспортними районами i та j , грн.

Обчислення частки кореспонденції, що буде реалізована за альтернативними варіантами шляху пересування, виконують за залежністю у 24 блоці алгоритму:

$$P_{ij}^k = \frac{\left[1 + \left(\frac{\Delta C_{nepij}^k}{33,9559} \right)^{1,5988} \right]^{\frac{6,31984}{1,5988}}}{\sum_{k=1}^m \left[1 + \left(\frac{\Delta C_{nepij}^k}{33,9559} \right)^{1,5988} \right]^{\frac{6,31984}{1,5988}}}, \quad (7)$$

де m – кількість шляхів пересування, що використовують пасажири при здійсненні пересування між районами i та j .

Кінцевим етапом алгоритму є виведення результатів розрахунку, що являють собою частку розподілу кореспонденцій за альтернативними варіантами шляху пересування (рис. 1, блок 25).

Таким чином розроблена модель дає змогу проводити розподіл кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування. При цьому в якості характеристик альтернатив враховано витрати часу на здійснення пересування, вплив транспортної стомлюваності та рівень тарифів на послуги маршрутного пасажирського транспорту.

Величина кореспонденції, реалізована по шляху пересування k між транспортними районами i відправлення та j призначення, визначається таким чином:

$$h_{ij}^k = H_{ij} P_{ij}^k, \quad (8)$$

де H_{ij} – величина кореспонденції між транспортними районами відправлення i та призначення j , пас.

Обговорення результатів розробки алгоритму моделі розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування. Розроблена модель вибору пасажиром шляху пересування дає змогу врахувати взаємозв'язок між характеристиками альтернативних варіантів і величиною попиту на їхнє використання як функцію від імовірності відмови пасажиру в посадці та рівня заповнення салону транспортного засобу.

Запропонований підхід дозволяє врахувати особливості формування пасажиропотоків у найзначніших містах, що характеризуються високим попитом мешканців на послуги маршрутного пасажирського транспорту й обмеженим рівнем транспортної пропозиції.

Висновки. Розроблена модель розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування враховує поведінкові аспекти вибору пасажиром шляху пересування та сукупність факторів, що обумовлюють цей процес. До моделі включено показники, що характеризують рівень транспортного обслуговування, рівень тарифів на послуги міського пасажирського транспорту та соціально-економічні характеристики життя населення. Крім цього враховано факт погіршення характеристик шляху пересування для пасажирів зі зростанням величини пасажиропотоку на маршрутах, що до нього входять.

Список літератури: 1. Доля, В. К. Пасажирські перевезення [Текст] / В. К. Доля. – Х.: «Видавництво «Форт»», 2011. – 504 с. 2. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок [Текст] / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с. 3. Антошвили, М. Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ [Текст] / М. Е. Антошвили, Г. А. Варелопуло, М. В. Хрущев. – М.: Транспорт, 1974. – 104 с. 4. Грановский, Б. И. Моделирование пассажирских потоков в транспортных системах [Текст] / Б. И. Грановский // Итоги науки и техники. Серия «Автомобильный и городской транспорт», 1986. - Т. 11. – С. 67 – 107. 5. Мун, Э. Е. Организация перевозок пассажиров маршрутными такси [Текст] / Э. Е. Мун, А. Д. Рубец. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с. 6. Горбачов, П. Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» [Текст] / П. Ф. Горбачов. – Х., 2009. – 39 с. 7. Садыхова, О. С. Выбор пассажиром пути следования [Текст] / О. С. Садыхова // Городской транспорт и инженерная подготовка городской территории. Сб. науч. трудов ЛИСИ №91, 1974. – С. 33–41. 8. Lam, W. H. K. Advanced modeling for transit operations and service planning [Text] / W. H. K. Lam, M. G. H. Bell // Pergamon, Elsevier Science Ltd., Oxford, 2003. – 345 p. 9. Cepeda, M. A frequency-based assignment model for congested transit networks with strict capacity constraints: characterization and computation of equilibria [Text] / M. Cepeda, R. Cominetti, M. Florian // Transportation Research 40B, 2006. - P. 437–459. 10. Nuzzolo, A. Schedule-based path choice models for public transport networks [Text] / A. Nuzzolo // Proceedings of Advanced Course on Transit Networks, Rome, 2001. - P. 15.

Bibliography (transliterated): 1. Dolya, V. K. (2011). Passenger transportation. Kharkiv, 504. 2. Efremov, I. S., Kobozev, V. M., Yudin, V. A. (1980). The theory of urban passenger transport. Moscow, 535. 3. Antoshvili, M. E., Varelopulo, G. A., Khrushchev, M. V. (1974). Organization of urban bus transport with application of mathematical methods and computers. Moscow, 104. 4. Granovsky, B. I. (1986). Modelling passenger flows in transport systems // Results of science and technology. A series "Road and urban transport", V.11, Moscow, 67 – 107. 5. Moon, E. E. (1986). Organization of passengers transportation by bus. Moscow, 136. 6. Gorbachov, P. F. (2009). Concept of formation systems routeing passenger transport in cities. Kharkiv, 39. 7. Sadikhova, O. S. (1974). Passenger route choice // Public transport and engineering preparation of the urban area, 91, 33-41. 8. Lam, W. H. K., Bell, M. G. H. (2003). Advanced modeling for transit operations and service planning, Pergamon, Elsevier Science Ltd., Oxford, 345. 9. Cepeda, M., Cominetti, R., Florian, M. (2006). A frequency-based assignment model for congested transit networks with strict capacity constraints: characterization and computation of equilibria. Transportation Research 40B, 437–459. 10. Nuzzolo, A. (2001). Schedule-based path choice models for public transport networks. Proceedings of Advanced Course on Transit Networks, Rome, 15.

Поступила (received) 19.02.2015