

УДК 656.13

В.К. Доля, І.С. Бугайов, О.В. Прасоленко

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПІШОХІДНИХ ПОТОКІВ У МІСТАХ

Проблема формування пішохідних потоків у містах вимагає розробки сучасних підходів з моделювання системи пішохідного руху. Безпека руху, витрати часу, комфортність пересування пішоходів є найважливішими критеріями функціонування системи руху пішохідних потоків. Для визначення показників функціонування системи пішохідного руху використовується метод моделювання характеристик пішохідних потоків на вуличній мережі. Запропонована модель розподілу пішохідних потоків дозволяє визначати інтенсивності пішохідних потоків на вуличній мережі та витрати часу на пересування.

Ключові слова: вулична мережа, моделювання пішохідних потоків, інтенсивність руху пішоходів.

Постановка проблеми

Кількість мешканців мегаполісів стрімко збільшилася за останні десятиліття. Потреби суспільства внесли зміни до багатьох соціальних галузей, однією з яких є транспорт. Але, перш ніж використовувати транспорт, людина виконує піше пересування. Сьогодні великі житлові, торгові квартали мегаполісів з високою щільністю населення, відчувають перевантаження від потоків пішоходів. Крім того, формуються небезпечні місця конфліктів пішоходів і транспорту [1–6].

Великі обсяги пішохідних потоків вимагають грамотного перерозподілу в місцях транспортно-пересадочних вузлів і перетинів з вулично-дорожньою мережею міста [2–4]. При цьому, важливо знати прогностичні значення обсягів руху, так як система організації дорожнього руху та пішохідного руху безпосередньо залежить від них в перспективі. Таким чином, виникає задача по визначенню обсягів руху пішохідних потоків, розподілу пішоходів по мережі мегаполісу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В сучасній практиці можливо застосовувати декілька підходів щодо визначення параметрів розподілу і обсягів руху пішохідних потоків.

Першим є метод натурних спостережень. Якщо використовувати цей метод на мережі міста, то для кожної ділянки потрібно окремого обліковця, щоб порахувати кількість пішоходів у часі. Цей метод складно використовувати, адже дослідження піших потоків у часі потребує значних ресурсів. Автори робіт [2, 4–6] пропонують використовувати цей метод лише для зонального спостереження за розподілом пішохідних потоків, наприклад на перехрестях вулиць чи на транспортно-пересадочних вузлах мережі міста.

Другим є метод моделювання. Цей метод дозволяє змоделювати піші потоки для різних об'єктів пішого тяжіння. Автори робіт [7–9] пропонують моделювати пішохідні потоки у часі використовуючи статистичні дані щодо піших потоків на основі екстраполяції, які отримані також методом натурних спостережень. Тобто даний підхід використовувати без методу натурних спостережень не можливо, а це значно ускладнює вирішення завдання.

Отримані результати з визначення потоків пішоходів в роботах авторів [10, 11] теж спираються на метод натурних спостережень, а отримані результати з розрахунку показників піших пересувань порівнюються з реальними значеннями пішохідних потоків. Розрахунок обсягів пересування піших потоків виконується за допомогою моделей «попит–пропозиція». Використання даного підходу є більш перспективним, але адекватність результатів не знаходиться в межах статистичної похибки. Також в роботах не використовуються функції тяжіння, а параметри складності пересування по мережі не враховано.

Отже в напрямку дослідження пішохідного руху у містах ведуться значні дослідження, проте використання вищезгаданих підходів в перспективі викликає значний сумнів, адже моделювання піших потоків доцільно виконувати на перспективу розвитку транспортної системи міста.

Формулювання мети статті

Метою дослідження є розробка методу моделювання пішохідних потоків на мережі міста. Основними завданнями є:

- визначення методу дослідження пішохідних потоків;
- розробка моделі з розрахунку характеристик пішохідних потоків;

– визначення показників функціонування пішохідних потоків на мережі.

Виклад основного матеріалу

Основною функцією транспортної системи міста є задоволення потреб з пересування мешканців. Саме пересування мешканців і вибір маршруту пішого пересування викликають значний інтерес. Пересування пішоходів як правило відбувається до зупинок громадського транспорту або місць культурно-побутового дозвілля у внутрішньорайонному сполученні чи пересуванням між окремими мікрорайонами міста. Слід зауважити що нерівномірність пішохідного руху залежить від генеруючих можливостей будівель [12]. Саме генеруючи будівлі є елементами мережі піших пересувань і параметри формування обсягів руху піших потоків також залежать від них. Отже для розподілу обсягів піших потоків по мережі пропонується використовувати гравітаційну модель:

$$P_{ij} = \frac{HP_i \cdot HO_j \cdot k_j \cdot d_{ij}}{\sum_{z=1}^n (HP_z \cdot k_z \cdot d_z)} \quad (1)$$

де – P_{ij} – кореспонденція пішого пересування на мережі по маршруту Z ;

HP_i – сформований обсяг прибуття пішоходів в елемент (i) пішохідної мережі;

HO_j – сформований обсяг відправлення пішоходів з елементу (j) пішохідної мережі;

k_j – балансувальний коефіцієнт моделі;

d_{ij} – функція тяжіння пішоходів до місць прибуття до елементів пішохідної мережі.

Вхідні дані для розрахунку характеристик пішого пересування є дані щодо мережі (довжина ділянок і їх кількість, швидкість руху пішоходів і ін.) та сформовані обсяги відправлення пішоходів з елементів (i) та сформовані обсяги прибуття пішоходів в елементи (j) пішохідної мережі.

Інтерфейс розробленої програми з розрахунку характеристик пішохідних потоків представлено на рис. 1.

Результатом розрахунків програми є потужності піших потоків (інтенсивність руху) на мережі міста. Програма дозволяє визначати інтенсивність руху пішохідних потоків по кожній заданій заздалегідь ділянці вуличної мережі. Тобто питання формування вуличної мережі можливо вирішувати за допомогою оцінки інтенсивності руху пішоходів. Наприклад, будівництво супермаркету чи житлового будинку викликає перерозподіл пішохідних потоків за напрямками пересування.

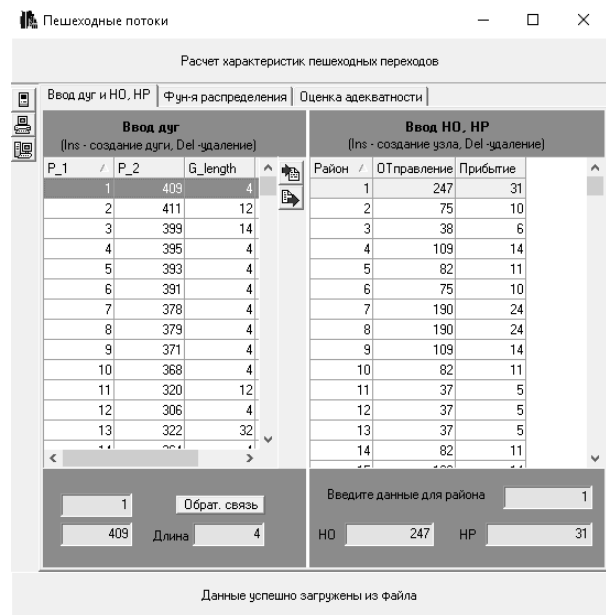


Рис. 1. Інтерфейс програми з розрахунку характеристик пішохідних потоків

Фрагмент мережі представлено на рис. 2. Графічна реалізація результатів розрахунків дозволяє відстежувати потоки пішоходів з прив'язкою до місцевості. На рис. 2 зображено ділянки мережі, генеруючи будівлі та пішохідні потоки в прямому напрямі (наприклад для ділянки 361–362 складає 288 пішоходів) та зворотному напрямі 362–361 складає 391 пішохід.

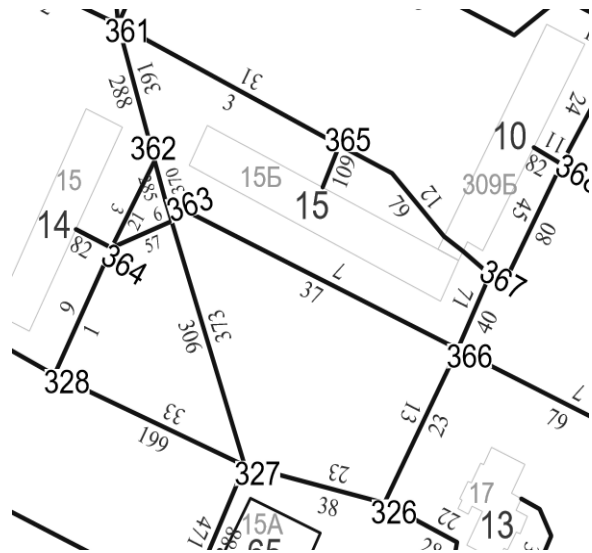


Рис. 2. Графічна реалізація результатів розрахунків пішохідних потоків (фрагмент)

Основним питанням використання гравітаційної моделі є адекватність розрахунків характеристик пішохідних потоків на мережі. Для цього, ми порівнюємо розраховані значення потоків пішоходів з фактичними даним по мережі за середньою помилкою апроксимації (2) та середньозваженою помил-

кою (3).

Середню помилку апроксимації (A) визначаємо за формулою:

$$A = \frac{\sum_{z=1}^n |F_{\phi ij} - F_{pij}|}{n}, \quad (2)$$

де $F_{\phi ij}$ – фактичне значення потоку пішоходів на ділянці мережі ($i-j$).

F_{pij} – раховане значення потоку пішоходів на ділянці мережі ($i-j$).

n – кількість розглянутих ділянок мережі.

Середньозважена помилка:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{z=1}^n (\Delta_{i-j} \cdot F_{\phi ij})}{\sum_{z=1}^n F_{pij}}, \quad (3)$$

де Δ_{i-j} – відносна помилка розрахунку потоку пішоходів на ділянці.

Так, як кількість ділянок мережі декілька тисяч, то для автоматизації розрахунків було використано модуль програми «пішохідні потоки» для оцінки адекватності розрахунків. Розрахунки виконувались поетапно за умови введення мінімального потоку коли $F_{\phi ij} \geq F_{\min}$ (рис. 3).

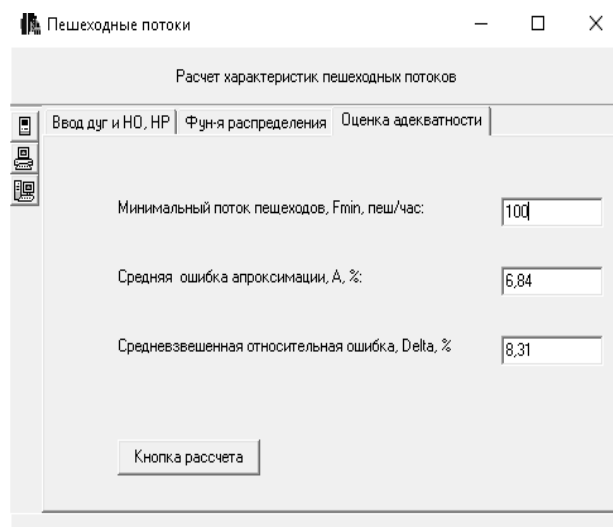


Рис. 3. Модуль програми «пішохідні потоки» для оцінки адекватності

Витрати часу пішохідного потоку на пересування по ділянці $i-j$ визначаємо за формулою

$$C_{Pij} = F_{pij} \cdot t_{pij}, \quad (4)$$

де t_{pij} – час пересування ділянкою $i-j$, сек.

Витрати часу пішохідних потоків по мережі:

$$C_{\text{Псум}} = \sum_{z=1}^n F_{Pi-j} \cdot t_{Pi-j}. \quad (5)$$

Середній час одного пішого пересування:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{z=1}^n t_{ij} \cdot F_{Pij}}{\sum_{ij} t_{ij}}. \quad (6)$$

Середня дальність одного пішого пересування:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{z=1}^n L_{ij} \cdot F_{Pij}}{\sum_{ij} L_{ij}}, \quad (7)$$

де L_{ij} – довжина ділянки мережі, м.

Представлені показники (4–7) дозволяють виконувати оцінку функціонування пішохідних потоків на вуличній мережі міста.

Висновки

В статі представлено підхід щодо визначення потужностей потоків пішоходів та маршрутів їх пересування з використанням комп'ютерного моделювання. Модель дозволяє розраховувати потужності потоків пішоходів на вуличній мережі міста і обсяги їх пересування. Для цього використовуються адекватні функції тяжіння населення при перерозподілі потоків пішоходів. Мережні параметри враховують характеристики транспортно-пішохідної системи мегаполісу. Висока точність опису мережі міста, вихідних даних для моделювання потоків пішоходів дозволили отримати адекватні значення розрахунків потоків пішоходів та обсягів руху. Середня помилка апроксимації склала 6,84%, а середньозважена помилка – 8,31%. Запропоновані системні показники оцінки формування потоків пішоходів мережі (витрати часу на пересування, середня дальність пересування і ін.), дозволяють виконувати оцінку пропонованих заходів на мережі.

Література

1. Доля, В.К. Пасажирські перевезення [Текст] / В.К. Доля. – Харків: Вид-во „Форт”, 2011. – 507 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. Якимов, М.Р. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах [Текст]: монография / М.Р. Якимов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – 175 с.
4. Золотов, С.М. Пешеходная зона [Электронный ресурс] / С.М. Золотов. – Режим доступа: <http://nestor.minsk.by/sn/2009/27/92701.html>.
5. Highway Capacity Manual [Текст] // TRB, Washington, DC, 2000.– 1134 p.
6. Живоглядов, В. Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков [Текст] /

- В. Г. Живоглядов. – Ростов-на-Дону. : Изв. Вуз. Сев., 2005. – 1082 с.
7. Lohse, D., Teichert, H. Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen – Verkehrsnachfragemodellierung, noch unveröffentlichte 2. Auflage. – Dresden, Lehrstuhl für Theorie der Verkehrsplanung der TU Dresden. – 2003. – 350p.
8. Lohse, D., Glücker, C., Teichert, H. A demand model for urban commercial transport : 2nd Symposium on Networks for Mobility. – Stuttgart, 2004. P. 320–402.
9. Рэнкин, В. У. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения [Текст] / В. У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
10. Singh, M. G. Modeling and hierarchical optimization for oversaturated road traffic network / Singh M. G., Tamura H. // Int. J. Cont. – 1974. – vol. 20, № 6. – P. 913–934.
11. Sheffi, Y. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods / Sheffi Y. – Cambridge : Massachusetts Institute of Technology, 1972.
12. Бугайов, І.С. Щодо дослідження пунктів тяжіння пішоходних потоків / І.С. Бугаєв, О.М. Єрмак // Міжвузівський збірник "НАУКОВИ НОТАТКИ". – Луцьк: , – 2014. – Вип. №46 – С. 43–49.

References

1. Dolya, V.K. Passenger transportation [Text] / Dolya V.K.– Kharkov: Printed "Fort", 2011. -507 p.
2. Efremov, I.S. Theory of urban passenger transportation [Text] / I.S. Efremov, V.M. Kobozev, V.A. Yudin. –M.: Higher education. School, 1980. – 535 p.
3. Yakimov, M.R. The concept of transport planning and traffic management in large cities [Text]: monograph / M.R. Yakimov. – Perm: Publishing house of Perm. State. Tech. University, 2011. – 175 p.
4. Zolotov S.M. Pedestrian zone [Electronic resource] / S.M. Zolotov. - Access mode: <http://nestor.minsk.by/sn/2009/27/92701.html>.
5. Highway Capacity Manual [Tekst] // TRB, Washington, DC, 2000.– 1134 p.

6. Zhivoglyadov V.G. Theory of motion of transport and pedestrian flows [Text] / VG Zhivoglyadov. – Rostov-on-Don. : Izv. University. Northern, 2005. – 1082 p.
7. Lohse D., Teichert H. Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen – Verkehrsnachfragemodellierung, noch unveröffentlichte 2. Auflage. – Dresden, Lehrstuhl für Theorie der Verkehrsplanung der TU Dresden. – 2003. – 350p.
8. Lohse D., Glücker C., Teichert H. A demand model for urban commercial transport : 2nd Symposium on Networks for Mobility. – Stuttgart, 2004. P. 320–402.
9. Rankin V.U. Automobile transportations and the organization of traffic [Text] / V.U. Rankin, P. Clafi, S. Halbert and others – M.: Transport, 1981. – 592 p.
10. Singh M. G. Modeling and hierarchical optimization for oversaturated road traffic network / Singh M. G., Tamura H. // Int. J. Cont. – 1974. – vol. 20, № 6. – P. 913–934.
11. Sheffi Y. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods / Sheffi Y. – Cambridge : Massachusetts Institute of Technology, 1972.
12. I.S. Buhayov. Regarding the study points gravity pedestrian flows / I.S. Bugaev, O.M. Ermak // Interuniversity collection "Science notes". – Lutsk – 2014 – Vol. №46 – P. 43–49.

Автор: ДОЛЯ Віктор Костянтинівич
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, д-р техн. наук, професор.
E-mail – kafedra_tsl@ukr.net

Автор: БУГАЙОВ Ігор Сергійович
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, асистент.
E-mail – kafedra_tsl@ukr.net

Автор: ПРАСОЛЕНКО Олександр Володимирович
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, кандидат технічних наук, доцент.
E-mail – prasolenko@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ В ГОРОДАХ

В.К. Доля, И.С. Бугаев, А.В. Прасоленко

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

Проблема формирования пешеходных потоков в городах требует разработки современных подходов по моделированию системы пешеходного движения. Безопасность движения, затраты времени, комфортность передвижения пешеходов являются важнейшими критериями функционирования системы движения пешеходных потоков. Для определения показателей функционирования системы пешеходного движения используется метод моделирования характеристик пешеходных потоков на уличной сети. Предложенная модель распределения пешеходных потоков позволяет определять интенсивности пешеходных потоков на уличной сети и затраты времени на передвижение.

Ключевые слова: уличная сеть, моделирование пешеходных потоков, интенсивность движения пешеходов

MODELING OF PEDESTRIAN FLOWS IN CITIES

V.K. Dolya, I.S. Bugayev, O.V. Prasolenko

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

The problem of the formation of pedestrian flows in cities requires the development of modern approaches to modeling the pedestrian traffic system. Traffic safety, time, comfort of movement of pedestrians are the most important criteria for the functioning of the pedestrian flow system. To determine the performance of the pedestrian traffic system, the method of modeling the characteristics of pedestrian flows on the street network is used. The proposed model for the distribution of pedestrian flows makes it possible to determine the intensity of pedestrian flows on the street network and the time spent on movement. The model is based on the calculation of the characteristics of pedestrian flows using a gravity model by the type of distribution. The distribution is performed on the basis of adequate gravity functions of pedestrian flows. Knowing the power of pedestrian flows, it is possible to determine the structure of a street network for the movement of pedestrians and the interaction of pedestrian flows with traffic flows.

Key words: *street network, modeling of pedestrian flows, traffic intensity of pedestrians, pedestrian time expenditure.*