

МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

УДК 656.1:51.001.8

О. Ф. Кузькін, к. т. н., доц.

МОДЕЛЮВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ У СИСТЕМАХ МІСЬКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Наведено математичну модель і методику розрахунку пасажирських потоків методом взаємних кореспонденцій транспортних районів з використанням результатів натурних обстежень та імовірнісної моделі з обмеженою функцією складності сполучення. Подано результати моделювання кореспонденцій у м. Запоріжжя.

Вступ

Визначення обсягів пасажирських кореспонденцій у містах пов'язане з рішенням комплексу задач, серед яких слід у першу чергу відзначити такі: виявлення та вивчення закономірностей між переміщеннями міського населення та соціальними факторами, що їх визначають; розрахунок провізної спроможності міського пасажирського транспорту (МПТ) та потрібного парку рухомого складу для забезпечення перевезень пасажирів при задовільненні умов якості їх обслуговування на визначеному рівні.

Широке розповсюдження у великих містах, зважаючи на велику трудомісткість отримання вихідних даних для розрахунку пасажирських кореспонденцій натурними обстеженнями, отримали гравітаційні, ентропійні та імовірнісні моделі. В основі цих моделей лежить формула [1, 2]

$$x_{ij} = A_i B_j \varphi_{ij}, \quad (1)$$

де x_{ij} — величина кореспонденції між i та j районами міста; A_i, B_j — «потенціали» районів, в якості яких зазвичай приймають їх транспортний обсяг; φ_{ij} — деяка функція взаємного «тяжіння» районів i та j .

Безперечною перевагою такої моделі є її простота та можливість отримання однозначного результату. Однак, основну складність становить визначення її складових. Визначаючи транспортні обсяги районів, які зазвичай визначають за кількістю місць прикладення праці та місць проживання, не враховується динаміка збільшення та зменшення робочих місць, міграція населення територією міста, рівень автомобілізації. Також неможливо оцінити адекватність моделі та її похибку, оскільки вона побудована на припущенні розподілу кореспонденцій між районами міста згідно функції взаємного тяжіння, вид якої висувається гіпотетично.

В сучасних умовах великих міст для визначення обсягів перевезень та необхідної кількості рухомого складу на існуючій маршрутній мережі необхідна методика, яка дозволяє отримати дані про пасажирські кореспонденції у стислий термін з невеликою трудомісткістю та мінімальних обсягах вихідної інформації.

Основна частина

В основу розрахунку пасажиропотоків методом взаємних кореспонденцій транспортних районів покладено заміну суцільної міської території з множиною точок зародження та погашення кореспонденцій еквівалентною їй дискретною з обмеженою кількістю цих точок. Для цього територію міста розбивають на транспортні райони та вводять гіпотези [3]:

- 1) всі пасажирські кореспонденції поділяють на внутрішньорайонні та міжрайонні;
- 2) всі внутрішньорайонні кореспонденції виконуються всередині транспортних районів, а міжрайонні здійснюються між центрами транспортних районів за найкоротшою відстанню.

Таким чином, першим етапом у моделюванні пасажирських кореспонденцій є транспортне районування міста та визначення центрів тяжіння транспортних районів. Транспортне районування виконується безпосередньо на плані міста таким чином, щоб кожен район являв собою територію, від-

носно ізольовану у транспортному сенсі природними перешкодами (залізничні лінії, річки, тощо), а окремі транспортні райони мали між собою мінімальну кількість транспортних зв'язків. Центри тяжіння транспортних районів визначаються з фізичної аналогії на підставі виділення зон з однаковою щільністю населення.

Множина вершин графу транспортних зв'язків — це центри тяжіння транспортних районів G_k ($k = 1 \dots m$), а його дуги — транспортні зв'язки між районами. Кожній дузі (i, j) приписуються такі невід'ємні числа:

l_{ij} — відстань між центрами тяжіння транспортних районів, яка визначається безпосередньо на плані міста за найкоротшою відстанню магістральними вулицями, по яких організовано рух маршрутного пасажирського транспорту;

A_{ij} — кількість пасажирів, що виїжджають з транспортного району i до транспортного району j за досліджуваній період часу;

A_{ji} — кількість пасажирів, що в'їжджають до транспортного району i з транспортного району j за досліджуваній період часу.

Величини A_{ij} та A_{ji} для суміжних транспортних районів можуть бути отримані шляхом обстеження пасажиропотоків на магістралях, що відповідають дугам графу транспортних зв'язків. В якості періоду часу для досліджень приймається ранковий пік буднього дня тижня, коли більшість пасажирських кореспонденцій здійснюється до місць прикладення праці, а міський пасажирський транспорт працює з найбільшим навантаженням.

В якості функції тяжіння пропонується функція трикутного розподілу Сімпсона, функція щільності розподілу якого має вигляд [4]:

$$f(l) = \begin{cases} \frac{2(l - l_{\min})}{(l_{\max} - l_{\min})(l_0 - l_{\min})}, & \text{при } l_{\min} \leq l \leq l_0; \\ \frac{2(l_{\max} - l)}{(l_{\max} - l_{\min})(l_{\max} - l_0)}, & \text{при } l_0 \leq l \leq l_{\max}; \\ 0, & \text{в усіх інших випадках,} \end{cases} \quad (2)$$

де l_{\min} , l_{\max} — відповідно, мінімальне і максимальне значення випадкової величини; l_0 — мода (найбільш імовірне значення) випадкової величини.

Середнє значення випадкової величини, розподіленої за трикутним розподілом може бути виражене через його параметри формулою

$$\bar{l} = \frac{1}{3}(l_{\min} + l_0 + l_{\max}). \quad (3)$$

Перевагою такого розподілу у порівнянні використовуваними функціями тяжіння є те, що він є обмеженим з обох боків, що відповідає фізичній сутності процесу реалізації пасажирських кореспонденцій. Таким чином, для розрахунку функції взаємного тяжіння між районами достатньо визначити величини l_{\min} , l_{\max} та l_0 чи \bar{l} .

Нижньою границею відстані пересування пасажирів може служити мінімальна відстань, до досягнення якої населення міста не користується транспортом і пересувається пішки. За даними більшості дослідників [2, 5] значення l_{\min} починається з 0,5 км. Оцінкою верхньої границі відстані пересування пасажирів місті l_{\max} може служити максимальна відстань між центрами тяжіння транспортних районів, тобто

$$l_{\max} = \max_{\substack{i=1..m \\ j=1..m}} \{l_{ij}\}. \quad (4)$$

Середня відстань поїздки у місті може бути обчислена з формули [5]



Укрупнене транспортне районування м. Запоріжжя

$$\bar{l} = \frac{v_c(v_c - 2)}{4v_c - 5,3 \lg^2 v_c - 9,2 \lg v_c - 1}, \quad (5)$$

де v_c — швидкість сполучення, км/год.

З використанням гравітаційного моделювання та запропонованої функції тяжіння проведено розрахунок пасажирських кореспонденцій для умов м. Запоріжжя. Для моделювання місто було розділене на вісім укрупнених транспортних районів I — VIII (рис.).

Обстеження пасажиропотоків проводилось на магістральних вулицях міста, що з'єднують між собою визначені транспортні райони у ранковий пік буднього дня з 6:00 до 9:00 години ранку візуальним методом.

Результати обстеження пасажиропотоків та відстані між центрами тяжіння транспортних районів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Пасажиропотоки (чисельник) та найкоротші відстані між центрами тяжіння транспортних районів, км (знаменник)

Район в'їзду	Район виїзду								Разом
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
I	—	$\frac{3814}{9,8}$	$\frac{—}{12,3}$	$\frac{9387}{9,8}$	$\frac{—}{15,7}$	$\frac{—}{16,8}$	$\frac{—}{18,8}$	$\frac{—}{17,9}$	13201
II	$\frac{1790}{9,8}$	—	$\frac{—}{15,4}$	$\frac{3111}{15,1}$	$\frac{—}{18,2}$	$\frac{—}{19,6}$	$\frac{—}{21,5}$	$\frac{—}{20,4}$	4901
III	$\frac{—}{12,3}$	$\frac{—}{15,4}$	—	$\frac{4547}{8,1}$	$\frac{—}{15,1}$	$\frac{—}{16,2}$	$\frac{—}{20,1}$	$\frac{—}{15,7}$	4547
IV	$\frac{9765}{9,8}$	$\frac{9893}{15,1}$	$\frac{4243}{8,1}$	—	$\frac{6368}{5,9}$	$\frac{—}{7,3}$	$\frac{15450}{8,7}$	$\frac{10313}{7,7}$	56032
V	$\frac{—}{15,7}$	$\frac{—}{18,2}$	$\frac{—}{15,1}$	$\frac{6349}{5,9}$	—	$\frac{4860}{3,9}$	$\frac{—}{9,2}$	$\frac{—}{8,5}$	11209
VI	$\frac{—}{16,8}$	$\frac{—}{19,6}$	$\frac{—}{16,2}$	$\frac{—}{7,3}$	$\frac{3494}{3,9}$	—	$\frac{402}{7,8}$	$\frac{—}{10,1}$	3896
VII	$\frac{—}{18,8}$	$\frac{—}{21,5}$	$\frac{—}{20,1}$	$\frac{7503}{8,7}$	$\frac{—}{9,2}$	$\frac{515}{7,8}$	—	$\frac{523}{3,9}$	8541
VIII	$\frac{—}{17,9}$	$\frac{—}{20,4}$	$\frac{—}{15,7}$	$\frac{6319}{7,7}$	$\frac{—}{8,5}$	$\frac{—}{10,1}$	$\frac{515}{3,9}$	—	6834
Разом	11555	13707	4243	37216	9862	5375	16367	10836	

Припускаючи $l_{\min} = 0,5$ км, $l_{\max} = 21,5$ км та фактично для умов міста $v_c = 25,5$ км/год, визначаємо з формули (5) середню дальність поїздки пасажирів у місті $\bar{l} = 7,73$ км.

Використовуючи формулу (3), знайдемо моду трикутного розподілу для функції тяжіння $l_0 = 1,19$ км. Таким чином, функція тяжіння матиме вигляд

$$f(l) = \begin{cases} \frac{2l - 1}{14,49}, & \text{при } 0,5 \leq l \leq 1,19; \\ \frac{43 - 2l}{426,51}, & \text{при } 1,19 \leq l \leq 21,5; \\ 0, & \text{в усіх інших випадках.} \end{cases} \quad (6)$$

Розраховані значення функції тяжіння між районами та кореспонденції між ними, отримані розрахунком за прибуттям до транспортних районів з подальшим калібруванням кореспонденцій ітераційним методом Шацького [3] наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

**Розрахункові пасажирські кореспонденції за ранкові години пік (чисельник)
та значення функції взаємного тяжіння, ×102 (знаменник)**

Район в'їзду	Район виїзду								Разом
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
I	–	$\frac{2608}{5,49}$	$\frac{336}{4,31}$	$\frac{8942}{5,49}$	$\frac{416}{2,72}$	$\frac{190}{2,20}$	$\frac{397}{1,27}$	$\frac{311}{1,69}$	13201
II	$\frac{953}{5,49}$	–	$\frac{159}{2,86}$	$\frac{3495}{3,0}$	$\frac{170}{1,55}$	$\frac{55}{0,89}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{69}{0,52}$	4901
III	$\frac{340}{4,31}$	$\frac{441}{2,86}$	–	$\frac{3318}{6,28}$	$\frac{149}{3,00}$	$\frac{70}{2,49}$	$\frac{67}{0,66}$	$\frac{163}{2,72}$	4547
IV	$\frac{9325}{5,49}$	$\frac{9971}{3,0}$	$\frac{3423}{6,28}$	–	$\frac{7837}{7,32}$	$\frac{4029}{6,66}$	$\frac{13110}{6,00}$	$\frac{8337}{6,47}$	32131
V	$\frac{431}{2,72}$	$\frac{480}{1,55}$	$\frac{152}{3,00}$	$\frac{7773}{7,32}$	–	$\frac{465}{8,25}$	$\frac{1175}{5,77}$	$\frac{733}{6,10}$	11209
VI	$\frac{128}{2,20}$	$\frac{101}{0,89}$	$\frac{47}{2,49}$	$\frac{2600}{6,66}$	$\frac{303}{8,25}$	–	$\frac{481}{6,42}$	$\frac{236}{5,35}$	3896
VII	$\frac{201}{1,27}$	–	$\frac{34}{0,66}$	$\frac{6376}{6,0}$	$\frac{576}{5,77}$	$\frac{362}{6,42}$	–	$\frac{992}{8,25}$	8541
VIII	$\frac{182}{1,69}$	$\frac{110}{0,52}$	$\frac{94}{2,72}$	$\frac{4682}{6,47}$	$\frac{415}{6,1}$	$\frac{206}{5,35}$	$\frac{1145}{8,25}$	–	6834
Разом	11560	13711	4245	37188	9866	5377	16374	10840	

Висновки

Розроблений підхід до моделювання пасажирських кореспонденцій з використанням у якості вихідних даних натурних обстежень пасажиропотоків на маршрутній мережі міст та використання в якості функції тяжіння функції трикутного розподілу має відносно невелику трудомісткість отримання даних та виконання обчислень і може бути використаний для визначення провізних спроможностей маршрутної мережі та призначення діаметральних маршрутів у великих містах. Однак, він потребує додаткової верифікації, що буде задачею подальших досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Артынов, А. П. Автоматизация планирования и управления транспортными системами / А. П. Артынов, В. В. Скалецкий. — М. : Транспорт, 1981. — 208 с.
2. Брайловский, Н. О. Моделирование транспортных систем / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. — М. : Транспорт, 1978. — 122 с.
3. Ефремов И. С. Теория городских пассажирских перевозок / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. — М. : Высшая школа, 1980. — 535 с.
4. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика : для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. — М. : Физматлит, 2006. — 816 с.— ISBN 5-9221-0707-0.
5. Шелейховский, Г. В. Композиция городского плана как проблема транспорта / Г. В. Шелейховский. — Л. : Гипрогор, 1946. — 132 с.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту

Надійшла до редакції 9.09.09
Рекомендована до друку 20.10.09

Кузькін Олексій Феліксівич — доцент кафедри транспортних технологій.

Запорізький національний технічний університет