

УДК 656(1-21)

## ОЦІНКА РАЦІОНАЛЬНОЇ ПЛОЩІ ТРАНСПОРТНОГО РАЙОНУ В МОДЕЛІ ГРОМАДСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ МІСТА

**П.Ф. Горбачов, доцент, д.т.н., І.Г. Гузненков, здобувач, ХНАДУ**

*Анотація.* Наведено новий підхід до оцінки раціональної площі транспортного району у моделі громадського пасажирського транспорту міста на основі імовірності використання для поїздки зупиночного пункту, що розташований на території одного транспортного району із джерелом поїздки.

*Ключові слова:* транспортна модель міста, транспортний район, зупиночний пункт, повна імовірність, джерело поїздки.

## ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ТРАНСПОРТНОГО РАЙОНА В МОДЕЛИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДА

**П.Ф. Горбачев, доцент, д.т.н., И.Г. Гузненков, соискатель, ХНАДУ**

*Аннотация.* Приведен новый подход к оценке рациональной площади транспортного района в модели общественного пассажирского транспорта города на основе вероятности использования для поездок остановочного пункта, который расположен на территории одного транспортного района с источником поездки.

*Ключевые слова:* транспортная модель города, транспортный район, остановочный пункт, полная вероятность, источник поездки.

## ESTIMATION OF RATIONAL AREA OF TRANSPORT DISTRICT IN PUBLIC PASSENGER TRANSPORT MODEL

**P. Gorbachov, Associate Professor, Doctor of Technical Science,  
I. Guznenkov, Applicant, KhNADU**

*Abstract.* A new approach to estimation of rational area of transport district in the model of public passenger transport has been given on the basis of use probability for stop trips, which is located on the territory of one transport district with a trip source.

*Key words:* city transport model, transport district, stop point, absolute probability, trip source.

### Вступ

Важливим питанням при оцінці якості функціонування транспортно-пересадочних вузлів у містах є моделювання роботи міського пасажирського транспорту (МПТ) як головного засобу забезпечення пересадок пасажирів між різними маршрутами і міжміському та приміському сполученнях. Основою моделі потреб населення міст у пересуваннях, які власне і створюють умови виконання поїздок для осіб, що тимчасово перебувають на території міста, є поділ території міста на транс-

портні райони (ТР), які представляють собою однорідні, з транспортної точки зору, об'єкти, що генерують та поглинають поїздки. На основі характеристик ТР створюються матриці пасажирських кореспонденцій (МПК), які характеризують потреби пасажирів у пересуваннях в окремі періоди доби.

### Аналіз публікацій

Методичним підґрунтям проведення досліджень, з метою отримання МПК, є роботи [1] та [2]. Автори роботи [1] наводять принципи

мінімуму транспортних зв'язків, на основі якого виділяються території транспортних районів (ТР) при моделюванні перевезень.

У роботі [2] цей принцип реалізується при виділенні вищих транспортних районів (ВТР), які у термінології PTV VISION [3] представляють собою сукупності декількох ТР. ВТР не справляють безпосереднього впливу на МПК, але дозволяють суттєво знизити кількість джерел виникнення помилок при визначенні місткостей ТР з прибуття та відправлення пасажирів протягом розглянутого періоду. Це досягається за умови достатньо точного визначення кількості пасажирів, що в'їжджають у кожний ВТР та виїжджають з нього, на основі результатів візуальних спостережень за роботою маршрутних транспортних засобів на його транспортних зв'язках. У роботі [2] також запропонована інтервальна концепція формування МПК за відомих місткостей ТР з прибуття та відправлення пасажирів у розглянутий період. Вона дозволяє отримати достовірну, хоча й не єдину оцінку загальних параметрів функціонування маршрутної мережі. Але для цієї концепції характерні великі розбіжності між крайніми станами МПК, які забезпечують мінімум та максимум транспортної роботи на маршрутній мережі [2], що значно ускладнює процес оцінки якості обслуговування пасажирів протягом всього робочого дня, оскільки в цьому випадку, з метою врахування добових коливань пасажиропотоків, використовується декілька матриць пасажирських кореспонденцій. Для подолання цього недоліку інтервальну оцінку МПК пропонується використовувати на основі ємностей ВТР, що стає додатковим призначенням цих елементів опису системи МПТ.

Але на сьогодні ще не розроблено обґрунтовані в достатній мірі вимоги до моделювання ТР, які є основою для формування ВТР. В роботі [4] наведено основні вимоги до транспортного мікрорайонування, які представляють собою набір правил, які в багатьох випадках суперечать одне одному. В роботі [5] зроблено деякі кроки на шляху формалізації процесу транспортного мікрорайонування, але не визначено головне – раціональну площу транспортного району, яка впливає на більшість результатів моделювання та повинна мати відносно вузькі межі, але достатні для формування території ТР в конкретних умовах.

## Моделювання площі району

Величину раціональної площі транспортного району можна визначити на основі вимог до моделі потреб населення у пересуваннях. З одного боку, ця величина має забезпечити максимальну точність розрахунків за відомих характеристик ТР. З іншого боку, ці характеристики мають бути достатньо стабільними для забезпечення можливості отримання їх об'єктивних значень та мінімальної залежності характеристик ТР від поточного варіанта маршрутної мережі (ММ). Максимальна точність моделі потреб населення у пересуваннях може бути досягнута за найбільш повної деталізації опису елементів взаємодії пасажирів та транспортних засобів, що працюють на маршрутах, тобто при використанні кожного зупиночного пункту (ЗП) МПТ в якості центру ТР. Тоді як цільову функцію при визначенні раціональної площі ТР необхідно прийняти мінімум площі ТР

$$S_{\text{тp}i} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $S_{\text{тp}i}$  – площа  $i$ -го ТР у моделі МПТ.

При цьому обмеженням для кількості ТР виступає кількість ЗП

$$N_{\text{тp}} = S_3 / \bar{S}_{\text{тp}} \leq N_{\text{зп}}, \quad (2)$$

де  $N_{\text{тp}}$  – кількість ТР у транспортній моделі міста, од.;  $S_3$  – площа забудованої території міста, км<sup>2</sup>;  $\bar{S}_{\text{тp}}$  – середня площа ТР у транспортній моделі міста, км<sup>2</sup>;  $N_{\text{зп}}$  – загальна кількість ЗП МПТ у місті.

При такому підході до моделювання потреб населення у пересуваннях, коли ТР описують територію, прилеглу до кожного ЗП ММ, границі ТР завжди необхідно проводити на основі правила однакової відстані, тобто так, щоб найкоротші відстані від будь-якої точки на межі до центрів ТР, які вона розмежовує, була однаковою. Це правило не завжди має чітку практичну реалізацію, але може виконуватись приблизно. При цьому завжди виникають ситуації, коли відстань від точки на території одного ТР до свого ЗП зовсім мало відрізняється від відстані від тієї самої точки до центру сусіднього ТР. Це призводить до погіршення якості транспортного моделю-

вання, оскільки пасажир, для яких ця точка є пунктом зародження або поглинання пересування, можуть вільно обирати найкращий, за їх розумінням, зупиночний пункт, а не той, що знаходиться дещо ближче. Кількість таких спірних місць на території транспортного району визначається довжиною його границь та шириною смуги умовної байдужності. Чим менше площа ТР, тим більшу частину його території займає ця смуга. Таким чином зменшення території ТР значно погіршує стабільність його характеристик, яка оцінюється ймовірністю використання для поїздок ЗП, що належить території ТР, на якій розташоване джерело виникнення поїздки. Визначити цю ймовірність можливо на основі того, що вибір ЗП є елементом діяльності пасажирів з прийняття рішень [2]. Тоді результат вибору ЗП для пасажирів при пересуванні має характеризуватись його ефективністю та природно вважати, що кожна людина бажає досягти найбільшої ефективності при прийнятті рішення про варіант пересування. При розгляді ситуації вибору пасажиром зупиночного пункту доцільно розглядати дві альтернативи – вибір зупиночного пункту на території ТР, на якій розташоване джерело поїздки, та вибір зупиночного пункту на території іншого ТР. Формально умова вибору зупиночного пункту на території ТР, на якій розташоване джерело поїздки, за умови максимізації ефективності пересування для пасажирів виглядає наступним чином

$$E_k = R_k - C_k \geq E_j = R_j - C_j, \quad (3)$$

де  $k$  – індекс ЗП, що знаходиться на території ТР, на якій розташоване джерело поїздки;  $j$  – індекс ЗП, що знаходиться на території ТР, якому не належить джерело поїздки;  $E_k$ ,  $E_j$  – загальна ефективність вибору зупиночних пунктів  $k$  та  $j$  відповідно;  $R_k$ ,  $R_j$  – очікувані пасажиром результати пересування при виборі зупиночних пунктів  $k$  та  $j$  відповідно;  $C_k$ ,  $C_j$  – очікувані пасажиром витрати всіх видів на пересування при виборі зупиночних пунктів  $k$  та  $j$  відповідно.

Оскільки результати пересування, тобто прибуття на місце призначення не залежать від вибору зупиночного пункту, то

$$R_k = R_j, \quad (4)$$

а умова (3) перетвориться на

$$C_k \leq C_j. \quad (5)$$

З урахуванням мети розрахунків – визначення раціональної площі ТР, всі витрати на пересування доцільно розділити на дві складові: час пересування від джерела поїздки до зупиночного пункту та інші витрати на пересування

$$C_k = t_{зпк} + c_k \text{ та } C_j = t_{зпj} + c_j, \quad (6)$$

де  $t_{зпк}$ ,  $t_{зпj}$  – час підходу пасажирів від джерела поїздки до зупиночного пункту  $k$ , що знаходиться на території ТР, на якій розташоване джерело поїздки, та іншого зупиночного пункту  $j$  відповідно, хв;  $c_k$ ,  $c_j$  – витрати всіх видів пасажирів на пересування, окрім часу підходу від джерела поїздки до зупиночного пункту, при виборі зупиночних пунктів  $k$  та  $j$  відповідно, хв.

Вигляд функції витрат на пересування, отриманий у Харкові для трудових пересувань, наведений у роботі [2], але в даній роботі використання цієї функції недостатньо, оскільки тут необхідно розглядати весь спектр поїздок, а не лише з трудовими цілями. Окрім цього, ця модель має більш укрупнений зміст, ніж потрібно при розгляді питань визначення раціональної площі ТР, оскільки описує витрати пасажирів на пересування, починаючи з пункту посадки в ТЗ при першій маршрутній поїздки, пересування та закінчуючи пунктом висадки останньої маршрутної поїздки.

Функція витрат, необхідна для визначення раціональної площі ТР, повинна детально враховувати всі витрати пасажирів на пересування, враховуючи їх для кожного пасажирів на рівні точності, який визначається часом підходу від джерела поїздки до зупиночного пункту. Отримати об'єктивну оцінку ставлення пасажирів до параметрів пересування для формування функції витрат на такому рівні деталізації зараз неможливо, так само, як і передбачити пункти призначення пересувань кожного пасажирів. Тому витрати всіх видів на пересування, окрім часу підходу від джерела поїздки до зупиночного пункту, слід вважати випадковою величиною. При цьому доцільно розглядати не абсолютне значення

цих витрат, а різницю між ними при використанні зупиночних пунктів  $k$  та  $j$ . Тоді, з врахуванням (6), вираз (5) набуває вигляду

$$t_{зпк} \leq t_{зпj} + \Delta c_{kj}, \quad (7)$$

де  $\Delta c_{kj}$  – економія витрат пасажирів на пересування всіх видів, окрім часу підходу від джерела поїздки до зупиночного пункту, при виборі зупиночного пункту  $k$ , у порівнянні з витратами при виборі зупиночного пункту  $j$ , хв.

Оскільки обидві складові  $\Delta c_{kj}$ , тобто  $c_k$  та  $c_j$ , є випадковими величинами, економія витрат пасажирів також буде випадковою величиною, розподіленою за деяким законом розподілу. Це дає змогу формалізувати шукану імовірність використання для поїздок ЗП, що належить території ТР, на якій розташоване джерело поїздки

$$P_k = P\{t_{зпк} \leq t_{зпj} + \Delta c_{kj}\}, \quad (8)$$

де  $P_k$  – імовірність вибору зупиночного пункту  $k$ , що знаходиться на території ТР, на якій розташоване джерело поїздки.

Методика визначення величини цієї імовірності базується на використанні формули повної імовірності для безперервної випадкової величини [6]

$$P_k = P\{t_{зпк} \leq t_{зпj} + \Delta c_{kj}\} = \int_{-\infty}^{+\infty} P\{t_{зпк} - t_{зпj} \leq c\} \cdot f(c)dc, \quad (9)$$

де  $c$  – числова реалізація випадкової величини економії витрат пасажирів на пересування всіх видів, окрім часу підходу до зупиночного пункту, при виборі зупиночного пункту  $k$ , у порівнянні з витратами при виборі  $j$ -го зупиночного пункту  $\Delta c_{kj}$ , хв;  $f(c)$  – функція щільності розподілу випадкової величини  $\Delta c_{kj}$ .

Для визначення залежності шуканої імовірності необхідно експериментальним шляхом визначити вид функції  $f(c)$  та розрахувати значення часу підходу до двох зупиночних

пунктів  $k$  та  $j$ , які можливо розглядати як середні значення часу підходу від джерела поїздки до відповідних зупиночних пунктів, розраховані на основі припущення про рівномірний розподіл міст зародження поїздок по території ТР. При цьому доцільно прийняти, що швидкість пішого пересування пасажирів є постійною величиною

$$V_{пеш} = \text{const}, \quad (10)$$

де  $V_{пеш}$  – швидкість пішого пересування пасажирів від джерела поїздки до зупиночного пункту, м/хв.

Вираз (9) в цьому випадку набуває виду

$$P_k = \int_{-\infty}^{+\infty} P\left\{l_k - l_j \leq \frac{c}{V_{пеш}}\right\} \cdot f(c)dc, \quad (11)$$

де  $l_k, l_j$  – відстань від джерела поїздки до зупиночного пункту  $k$ , що знаходиться на території ТР, на якій розташоване джерело поїздки, та іншого зупиночного пункту  $j$  відповідно, м.

З урахуванням правила однакової відстані, зупиночні пункти  $k$  та  $l$  будуть розташовані у центрах тяжіння відповідних ТР. Розрахунок раціональної площі ТР має носити інтервальний характер, з урахуванням різноманітності конкретних ситуацій транспортного планування територій будь-якого міста. Крайні значення повинні розраховуватися виходячи зі співвідношення довжини периметра транспортного району та його площі. Максимальна імовірність вибору зупиночного пункту  $k$ , за заданої площини, буде властива ТР, який має форму кола, оскільки саме окружність має мінімальну довжину з усіх варіантів периметра [7]. Ця визначеність надає можливість проводити розрахунки імовірності вибору зупиночного пункту  $k$  для кола, а після проведення експериментальних досліджень розрахувати границі раціональних значень площі транспортного району на основі фактичних значень співвідношення периметрів ТР до їхньої площі. Таким чином потрібно визначити середньозважені відстані від точок зародження поїздок, рівномірно розташованих по площі кола до центру цього кола  $l_k$  та центру сусіднього кола  $l_j$ . Для цього транспортний район  $k$

представляється у вигляді сукупності кілець, що дає можливість отримати залежність

$$l_k = \frac{2}{3}r, \quad (12)$$

де  $r$  – радіус кола, який описує територію транспортного району  $k$ , м.

Розрахунки середньозваженої відстані до зупиночного пункту  $j$  можливо виконувати на основі представлення території транспортного району  $k$  у вигляді сукупності точок, розташованих на спіралі Архімеда, з початком у центрі ТР. Це дає наступну залежність для середнього значення серед  $N$  точок

$$l_j = \frac{R}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \sqrt{\left(\frac{i}{2N}\right)^2 + 1 - \frac{i \cdot \cos(i \cdot \varphi)}{N}}, \quad (13)$$

де  $R$  – відстань між центрами транспортних районів  $k$  та  $j$ , м;  $N$  – кількість точок у площині транспортного району  $k$ , на основі яких розраховується середня відстань до центру суміжного транспортного району, од.;  $\varphi$  – кутова відстань між суміжними точками на спіралі Архімеда, що описує територію транспортного району  $k$ .

Аналітичний результат відразу можна отримати після переходу від кінцевої множини точок до нескінченної. Але через відсутність формули суми отриманого ряду відстаней від конкретних точок до центру суміжного району  $j$  значення  $l_j$  необхідно визначати за допомогою експерименту, на основі залежності (13). Тобто для визначення імовірності використання пасажиром ЗП розташованого на території одного ТР з джерелом поїздки необхідно проведення експериментальних досліджень з визначення функції щільності розподілу величини економії витрат пасажирів на пересування та середньозваженої відстані від точок на території транспортного району  $k$  до центру суміжного району  $j$ . Результати експерименту дозволять визначити раціональне значення площі транспортного району та провести адекватне моделювання потреб населення міста Харків у пересуваннях.

## Висновок

Запропонований підхід дозволяє розрахувати раціональну величину площі транспортного району після проведення експериментальних досліджень з визначення функції щільності розподілу величини економії витрат пасажирів на пересування при виборі ЗП  $k$ , у порівнянні з  $j$ , та середньозваженої відстані від точок на території ТР  $k$  до центру району  $j$ .

## Література

1. Рейцен Є.О. Міські транспортно-пересадочні вузли і логістика / Є.О. Рейцен, К.О. Томкевич // Містобудування та територ. планув. – 2004. – Вип. 17. – С. 276–291.
2. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. докт. техн. наук : 05.22.01 / П.Ф. Горбачов. – Харків, 2009. – 41 с.
3. Швецов В.Л. Управление транспортной системой на основе компьютерной модели PTV VISION® VISUM / В.Л. Швецов, Е.А. Андреева // Сборник докладов 7-й междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». – С.Пб. : С.Пб. гос. архит.-строит. ун-т, 2006. – С. 190–192.
4. Горбачев П.Ф. Основы теории транспортных систем / П. Ф. Горбачев, И. А. Дмитриев. – Харьков : ХНАДУ, 2002. – 202 с.
5. Луб'яний П.В. Ефективність пасажирської маршрутної мережі міст : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05. 22. 01 / П. В. Луб'яний. – Харків : ХНАДУ, 2005. – 20 с.
6. Розанов Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика / Ю. А. Розанов. – М. : Наука, 1989. – 320 с.
7. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – 13-е изд, исправленное. – М. : Наука, 1986. – 544 с.

Рецензент: М.А. Подригало, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 19 квітня 2010 р.