

Визначення загального вигляду кривих розселення населення українських міст

Станіслав Свічинський

Кафедра транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, УКРАЇНА, м. Харків, вул. Петровського, 25, E-mail: stas_svichinsky@ukr.net

Abstract – Nowadays there is an insufficient attention to regularities in city population allocation. It can not be justified because these regularities are directly related to the transport demand and they reflect its spatial distribution over the city, that indicates the possibility of using the regularities mentioned in trip matrix calculation. Known to date population allocation curves refer to the cities of the former USSR and they are determined on the basis of large-scale surveys of citizens' trips. It caused the research of population allocation functions in present-day conditions. Characteristics of public transport network became the basis of the research, because satisfaction of transport demand is a main purpose of route network functioning. This research, which was based not only on empirical data but on the theoretical considerations, allowed to determine theoretically possible population allocation curves and to significantly reduce the resource consuming of this process. Consequently, it was determined that all of these curves can be described by the curve of relative Gamma-distribution function.

Ключові слова – функція розселення, крива розселення, транспортний попит, відстані між об'єктами транспортного тяжіння, гама-розподіл.

I. Вступ

Поняття розселення населення в транспортній науці відрізняється від звичного для багатьох людей, відомого, наприклад, з географії або демографії, де цей термін трактується як розподіл певної кількості людей по території їх проживання. У транспорті ж під розселенням населення розуміють розподіл населення по відношенню до місць прикладання праці, а закономірності розселення визначають через реалізовані їм пересування, фіксуючи дальність останніх [1]. Теоретичні функції, придатні для опису емпіричного розподілу дальностей транспортних трудових пересувань населення, називають функціями розселення. Вони ставлять у відповідність дальність поїздки людини з ймовірністю її здійснення. З цього стає зрозумілим, що закономірності розселення безпосередньо пов'язані з транспортним попитом, оскільки проявляються в результаті його реалізації. Отримання функцій розселення населення сучасних українських міст відкріє можливість їх використання при визначенні попиту на послуги міського пасажирського транспорту (МПТ), що дозволить отримувати такі стани попиту, які будуть найбільш наближеними до дійсності.

II. Поточний стан питання дослідження функцій розселення

Відомі на сьогоднішній день функції та криві розселення населення відносяться, здебільшого, до міст

колишнього СРСР. Для їх отримання проводились спеціальні масштабні обстеження дальностей поїздок працездатного населення на роботу і навчання або використовувались відповідні звітні-статистичні дані. Для отриманих дальностей, виражених в одиницях довжини або часу, будувалась емпіричний розподіл і шукалась математична залежність або теоретичний закон, найбільш придатний для опису зазначеного розподілу. У такий спосіб були отримані закономірності розселення для Москви 1930 р., Ленінграда 1923 та 1934 років [2], Праги 1966 та 1974 років, Пльзена 1974 р. [3], Вітебська 1959, 1963, 1965 років [4] та ін.

Даний спосіб отримання функцій розселення є дуже трудомістким, і його використання в часи колишнього СРСР було можливим багато в чому завдяки потужному адміністративному апарату держави. На сьогоднішній день реалізація такого способу практично неможлива, що обумовлено значними фінансовими витратами на проведення відповідних обстежень.

В результаті проведених досліджень була встановлена можливість отримання функції і, відповідно, кривої розселення міського населення на основі характеристик маршрутної мережі (ММ) громадського транспорту міста, що є процесом набагато меншої ресурсомісткості [5]. За основу при цьому необхідно брати закономірності у відстанях між транспортними районами міста, що є похідними від закономірностей у розміщенні зупиночних пунктів і довжинах перегонів МПТ [5, 6].

III. Теоретично можливі криві розселення населення сучасних українських міст

Визначення кривих розселення населення українських міст представляється можливим при відомих матрицях відстаней і матрицях пасажирських кореспонденцій (МПК), оскільки саме кореспонденції визначають частоту виникнення поїздок на певні відстані. Оскільки реальних МПК для сучасних українських міст знайдено не було, це визначило доцільність дослідження закономірностей розселення теоретичним шляхом і отримання, відповідно, теоретично можливих кривих розселення.

Формалізувати процес формування масиву відстаней транспортних трудових пересувань населення можна наступним чином. Нехай є МПК і матриця відстаней між транспортними районами (ТР) міста. Тоді отримати шуканий набір відстаней поїздок, розподіл яких визначає вид функції і криву розселення населення, можна, трансформувавши квадратну матрицю відстаней між ТР в лінійний набір відстаней поїздок. Процес трансформації полягає у тому, що значення кожної відстані між ТР i та j – l_{ij} – повторюється в лінійному масиві відстаней h_{ij} разів, якщо h_{ij} є величиною кореспонденції між ТР i та j :

$$\{l_{ij}\} = \begin{pmatrix} 0 & l_{12} & l_{13} & \dots & l_{1j} \\ l_{21} & 0 & l_{23} & \dots & l_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{i1} & l_{i2} & l_{i3} & l_{i(j-1)} & l_{ij, i=j} = 0 \end{pmatrix} \text{ vs } \begin{pmatrix} 0 & h_{12} & h_{13} & \dots & h_{1j} \\ h_{21} & 0 & h_{23} & \dots & h_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{i1} & h_{i2} & h_{i3} & h_{i(j-1)} & h_{ij, i=j} = 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

де h_{ij} – значення кореспонденції між ТР i та j , пас.;
 vs – позначення кратності повторення l_{ij} в лінійному наборі відстаней трудових поїздок $\{l_{ij}\}$ в залежності від значення h_{ij} .

При такому підході до отримання функції розселення робиться припущення про рівність нулю значень внутрішньорайонних кореспонденцій. Прийнятність даного припущення підтверджується значними труднощами обліку пересувань населення на малі відстані, тому що такі пересування переважно здійснюються пішки, а також малою питомою вагою даних піших пересувань в загальній масі трудових пересувань.

Далі варто зазначити, що в результаті проведених досліджень було встановлено, що відстані між транспортними районами міста можуть бути описані за допомогою гама-розподілу [5]

$$f(l) = \frac{b^c l^{c-1} e^{-bl}}{\Gamma(c)} \quad (l > 0, b > 0, c > 0) \quad (2)$$

де b – параметр масштабу; c – параметр форми.

Виходить, що щільність гама-розподілу (2) являтиме собою функцію розселення населення по дальності пересування між певними місцями роботи та проживання за умови, що в матриці кореспонденцій діагональні елементи рівні нулю, а всі інші – одиниці:

$$H = \{h_{ij}\} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$i, j = 1, 2, \dots, m$

Така ситуація можлива лише в теорії. У практиці розрахунків міських МПК вона не зустрічається і тому крива розселення може відрізнитися від кривої функції (2). Характер таких відмінностей буде визначатися способом (стратегією) заповнення МПК.

Також слід враховувати, що функція розселення населення, окрім виразу (2), зумовлюється ймовірністю виникнення певної кореспонденції, яка згідно з поняттями статистичної ймовірності деякої події і повної групи подій може бути записана як

$$p(h) = \frac{h_{ij}}{H}, \quad H = \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^m h_{ij} \quad (4)$$

де H – сума усіх h_{ij} в МПК, пас.

Засновуючись на викладеному вище та на стійкості гамма-розподілу відносно сумування, була висунута гіпотеза про те, що теоретична ймовірність здійснення h_{ij} поїздок на відстань l_{ij} (котру визначає функція розселення) в загальному випадку буде визначатися щільністю гама-розподілу.

Для перевірки наведених теоретичних передумов були обрані міста Суми, Кіровоград, Харків та Кривий ріг (Дніпропетровська область), тому що для них в результаті госпдоговірних і наукових робіт співробітників та студентів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) були побудовані моделі ММ громадського транспорту.

Зазначені моделі дозволили отримати відстані між ТР всіх перерахованих міст і теоретичний розподіл, придатний для їх опису – їм виявилось гама-розподіл, що графічно відображено на Рис. 1, 2. Параметри розподілу наведено в Табл. 1.

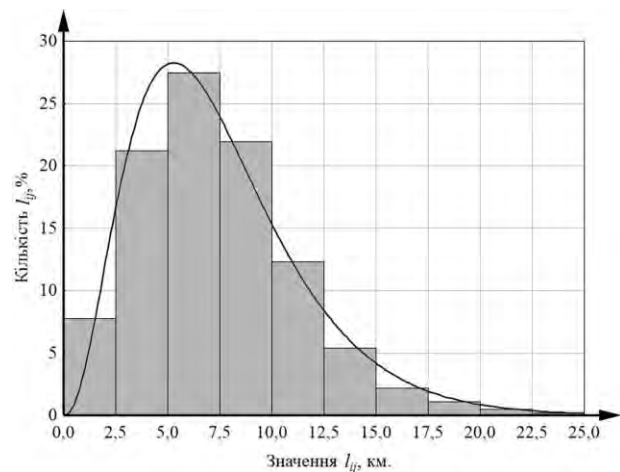


Рис. 1. Приклад емпіричного та теоретичного розподілів відстаней між ТР м. Суми

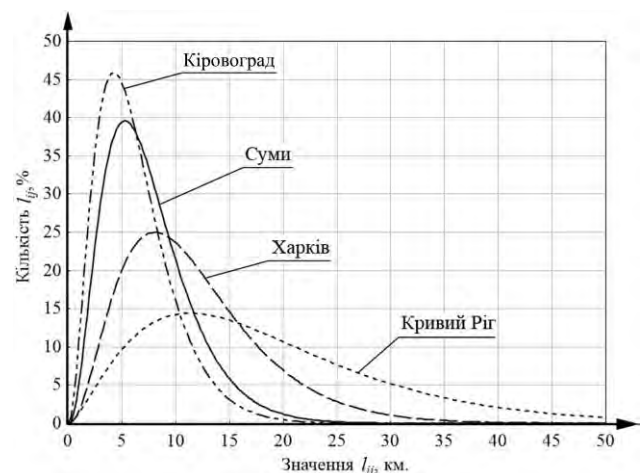


Рис. 2. Розподіли відстаней між ТР українських міст

Далі, з метою розрахунку можливих станів МПК із зазначених наукових та госпдоговірних робіт були отримані ємності ТР з відправлення та прибуття пасажирів, які дозволили розрахувати теоретично можливі МПК.

ТАБЛИЦЯ 1

ПАРАМЕТРИ ГАМА-РОЗПОДІЛУ,
ПРИДАТНОГО ДЛЯ ОПИСУ ВІДСТАНЕЙ
МІЖ ТРАНСПОРТНИМИ РАЙОНАМИ

Місто	Параметр		Величина тесту Колмогорова- Смирнова	Ймовір- ність за тестом χ^2
	мас- штабу	форми		
Кіровоград	2,01	3,12	0,029	0,401
Харків	3,59	3,25	0,034	0,280
Кривий Ріг	7,43	2,53	0,025	0,526
Суми	2,20	3,40	0,033	0,470

Як стратегії заповнення МПК були обрані такі:

- 1) стратегія заповнення матриці, при якій вважається, що кожен пасажир прагне мінімізувати власну відстань трудової поїздки (згідно першому принципу Вардроп), яку з метою уникнення плутанини можна назвати «Individual Minimization»;
- 2) гравітаційна модель з функцією тяжіння $f(l_{ij}) = 1/l_{ij}$, яку можна назвати «Gravity Model 1»;
- 3) гравітаційна модель з функцією тяжіння $f(l_{ij}) = 1/l_{ij}^2$, яку можна назвати «Gravity Model 2»;
- 4) стратегія випадкового заповнення МПК, яку доцільно позначити як «Random Matrix»;
- 5) стратегія заповнення, при якій вважається, що кожен пасажир прагне максимізувати власну відстань трудової поїздки, тобто стратегія, протилежна першій в даному переліку, яку доцільно назвати «Individual Maximization».

Трансформація матриць відстаней досліджених міст через розраховані у відповідності із зазначеними стратегіями МПК дозволила побудувати розподіли відстаней трудових поїздок населення, приклад одного з яких наведено на Рис. 3.

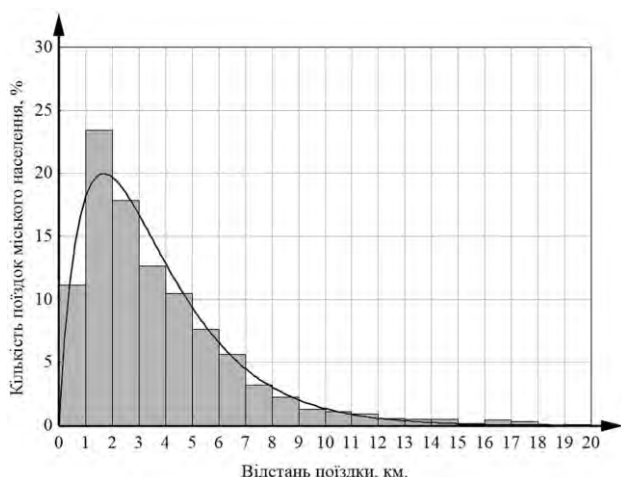


Рис. 3. Перевірка відповідності між закономірностями розселення населення м. Кіровоград та щільністю гама-розподілу при стратегії заповнення МПК «Gravity Model 1»

Теоретичними законами, придатними для опису розподілів відстаней поїздок, отриманих на основі різних МПК, виявилися показниковий і гамма-розподіл, що графічно відображено на Рис. 4 – 7. Параметри розподілів наведено в Табл. 2.

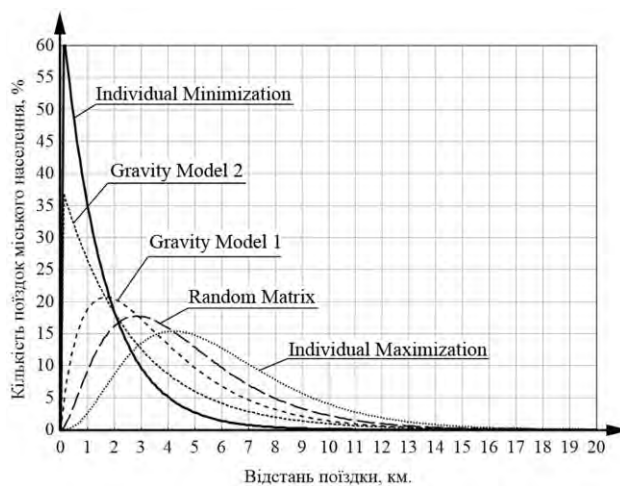


Рис. 4. Криві розселення населення м. Кіровоград, отримані при різних стратегіях заповнення МПК

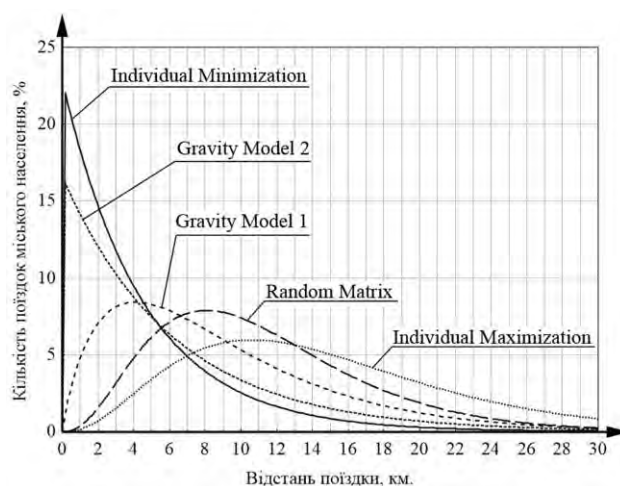


Рис. 5. Криві розселення населення м. Харків, отримані при різних стратегіях заповнення матриці МПК

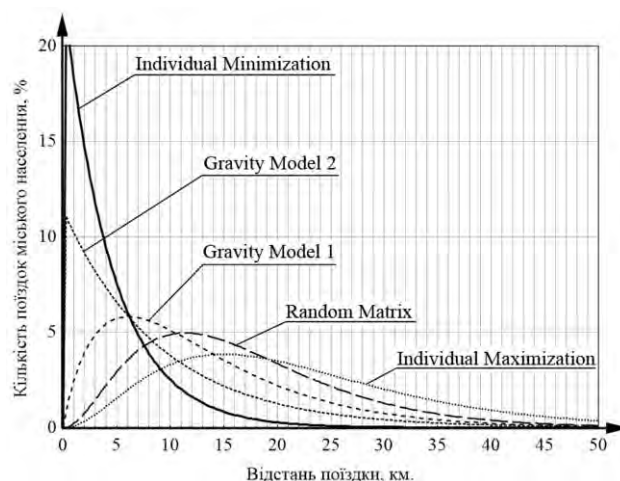


Рис. 6. Криві розселення населення м. Кривий Ріг, отримані при різних стратегіях заповнення МПК

Оскільки показниковий розподіл є окремим випадком гама-розподілу, можна з упевненістю стверджувати, що гама-розподіл, яким описується крива функції розселення, задається розподілом відстаней між ТР міста і не трансформується в будь-який інший незалежно від способу заповнення МПК.

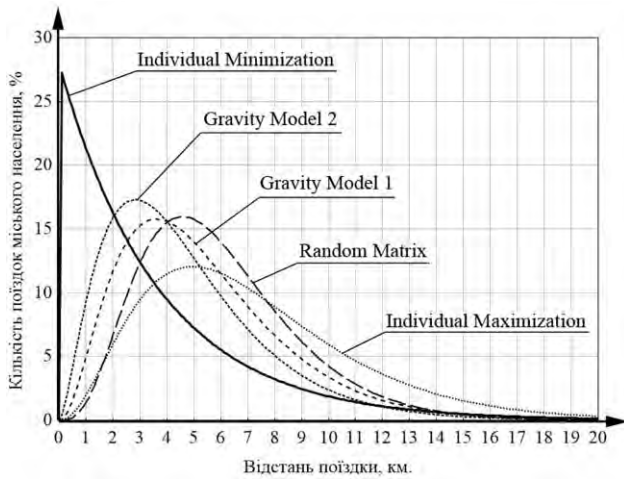


Рис. 7. Криві розселення населення м. Суми, отримані при різних стратегіях заповнення МПК

ТАБЛИЦЯ 2

ПАРАМЕТРИ РОЗПОДІЛІВ, ЯКИМИ ВИЗНАЧАЮТЬСЯ ТЕОРЕТИЧНО МОЖЛИВІ КРИВІ РОЗСЕЛЕННЯ НАСЕЛЕННЯ СУЧАСНИХ УКРАЇНСЬКИХ МІСТ

Стратегія заповнення МПК	Вид розподілу	Місто	Параметри розподілу		Величина тесту Колмогорова-Смирнова	Ймовірність за тестом χ^2
			масштаб	форма		
Individual Minimization	показниковий	Кіровоград	0,64		0,047	0,053
		Харків	0,22		0,058	0,050
		Кривий Ріг	0,22		0,029	0,280
		Суми	0,27		0,045	0,051
Gravity Model 2	показниковий	Кіровоград	0,37		0,031	0,389
		Харків	0,16		0,042	0,310
		Кривий Ріг	0,11		0,040	0,286
	гама	Суми	1,81	2,57	0,021	0,425
Gravity Model 1	гама	Кіровоград	1,97	1,85	0,030	0,397
		Харків	4,72	1,87	0,034	0,145
		Кривий Ріг	6,92	1,88	0,019	0,624
		Суми	1,75	3,07	0,027	0,289
Random Matrix	гама	Кіровоград	1,73	2,64	0,020	0,378
		Харків	3,19	3,53	0,036	0,284
		Кривий Ріг	5,61	3,03	0,035	0,066
		Суми	1,39	4,30	0,057	0,186
Individual Maximization	гама	Кіровоград	1,61	3,61	0,034	0,115
		Харків	4,24	3,50	0,038	0,055
		Кривий Ріг	7,12	3,11	0,048	0,052
		Суми	2,20	3,26	0,033	0,054

ВИСНОВОК

Проведені дослідження показали, що для всіх розглянутих сучасних українських міст характерні одні й ті ж теоретичні закономірності розселення, які можуть бути описані за допомогою гамма-розподілу або його окремого випадку – показникового розподілу. Це свідчить про відсутність впливу транспортних факторів на розподіл кореспонденцій між ТР, тому що отримані закономірності розселення проявляються вже на етапі розміщення ЗП, яким, зрештою, визначаються відстані між ТР. Даний факт відкриває нові можливості моделювання попиту на послуги МПТ, засновані на використанні закономірностей розселення при формуванні МПК – за умови відомої кривої розселення населення можливим є відшукування тих станів МПК, які її породжують. Такий спосіб моделювання попиту забезпечить обґрунтованість розрахунку значень кореспонденцій у порівнянні з найбільш поширеними існуючими моделями (гравітаційною та ентропійною), заснованих на аналогіях з природними явищами і процесами.

References

- [1] I. S. Efremov, et. al., *Teoriya gorodskih passazhirskih perevozok [Theory of City Public Transportation]*. Moscow: Vysshaja Shkola Publ., 1980.
- [2] G. V. Shelejhovskij, *Kompozicija gorodskogo plana kak problema transporta [City Layout as a Problem of Transport]*. Moscow: Gosudarstvennyj institut proektirovanija gorodov «GIPROGOR» Publ., 1946.
- [3] Jan Cibulka, *Kachestvo passazhirskih perevozok v gorodah [Quality of City Passenger Transportation]*. Moscow: Transport Publ., 1987.
- [4] L. M. Jeingorn, “Model trudovogo rasselenija” [*Model of working people allocation*], in *I Leningradskaia nauchnaja konferencija po obsledovaniju i prognozirovaniju passazhiropotokov “Gorod i passazhir” [City and a passenger]*, November 1969, Leningrad, USSR. Leningrad, 1969.
- [5] P. F. Gorbachov, et. al., “Analiz matrytsi vidstanei mizh transportnymi raionamy mista yak osnovy funktsii rozselennia naseleennia” [*Analysis of Matrix of Distances between Urban Transport Districts as a Basis of Population Allocation Function*], *Avtomobilnyj transport – Automobile Transport*, no. 27, pp. 73-76, 2010.
- [6] P. F. Gorbachov, et. al., “Obgruntuvannia pokaznykovoho zakonu rozpodilu dovzhyn perehoniv miskoho pasazhyrskoho transportu” [*Theoretical Justification of Exponential Distribution Law of Distances Between Stops of City Public Transport*], *Avtomobilnyj transport – Automobile Transport*, no. 31, pp. 88-92, 2012.