

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 656.015

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОСТОРОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ МІСТ

**П.Ф. Горбачов, професор, д.т.н., П.С. Кабелянц, доцент, к.т.н.,
С.В. Свічинський, аспірант, ХНАДУ**

***Анотація.** Наведено результати дослідження взаємозв'язку між розподілом Релея та показниковим розподілом, які придатні для опису довжин перегонів міського пасажирського транспорту (МПТ). Обґрунтовано виникнення параметра зсуву показникового розподілу, а також вибір його значення, яке не спотворює властивостей випадкової величини довжин перегонів.*

***Ключові слова:** попит на транспорт, функція розселення, перегін, координати зупиночних пунктів, розподіл Релея, ряд Тейлора, показниковий розподіл.*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДОВ

**П.Ф. Горбачёв, профессор, д.т.н., П.С. Кабелянц, доцент, к.т.н.,
С.В. Свичинский, аспирант, ХНАДУ**

***Аннотация.** Приведены результаты исследования взаимосвязи между распределением Релея и показательным распределением, которые пригодны для описания длин перегонов городского пассажирского транспорта (ГПТ). Обосновано возникновение параметра сдвига показательного распределения, а также выбор его значения, которое не искажает свойства случайной величины длин перегонов.*

***Ключевые слова:** спрос на транспорт, функция расселения, перегон, координаты остановочных пунктов, распределение Релея, ряд Тейлора, показательное распределение.*

REGULARITIES IN SPATIAL CHARACTERISTICS OF CITY ROUTE TRANSPORT

**P. Gorbachov, Professor, Doctor in Technical Sciences, P. Kabalyants, Associate
Professor, Candidate in Technical Sciences, S. Svichinskiy, postgraduate, KhNAHU**

***Abstract.** The paper presents the results of the research of relationship between the Rayleigh distribution and exponential distribution which are suitable to describe the city public transport (CPT) span lengths. The occurrence of an exponential distribution shift parameter and the choice of its value which doesn't deform characteristics of a span length variable are justified.*

***Key words:** transport demand, residence function, distance, stops rectangular coordinates, Rayleigh distribution, Taylor series, exponential distribution.*

Вступ

Формування транспортних систем міст, в тому числі й маршрутного пасажирського транспорту, є доволі складним, довготривалим та трудомістким процесом. Результат розви-

тку мережі МПТ, який є незамінним засобом реалізації потреб більшої частини населення у перевезеннях, є практично не вивченим з точки зору впливу на розподіл транспортного попиту по міській території.

Характеристикою такого розподілу є функції розселення населення по території міст. Дослідження формування цих функцій, залежно від просторового розташування об'єктів транспортної пропозиції – інфраструктури МПТ, – є актуальним напрямом досліджень.

Аналіз публікацій

На сьогодні рішення про напрямки розвитку транспортної мережі міст звичайно приймаються на рівні органів місцевого самоврядування. В розрізі достатньо тривалих періодів часу в розгалуженні транспортних мереж спостерігаються певні закономірності, в існуванні яких можна впевнитись, проаналізувавши зміну конфігурації мережі в динаміці. Зарубіжними науковцями приділяється велика увага виявленню таких закономірностей [1]. Ними здійснено спроби провести аналогію між процесом розвитку транспортної мережі та поведінкою мікроорганізмів при пошуках поживних речовин. Також вченими показано, що у транспортних мережах європейських міст у процесі розвитку проявляється певна ієрархічна структура. Звернено увагу і на те, що конфігурація транспортної мережі є результатом швидше тривалого взаємовпливу інтересів її користувачів, власників впливового бізнесу, проектувальників та виконавців їх рішень, аніж реалізації розробок органів влади. Результатом взаємодії такої великої кількості незалежних інтересів є випадковий характер розвитку міських транспортних мереж [1].

З розвитком транспортної мережі розростається і мережа МПТ, розташування об'єктів якої, відповідно до вищевикладеного, також можна вважати випадковим. Роль МПТ у житті міста переоцінити важко, оскільки він впливає на всі сфери людської життєдіяльності, в т.ч. і на працю. Поведінка людей в маршрутній системі в більшості випадків, в т.ч. і при виборі місця роботи як місця постійного транспортного тяжіння, визначається великим переліком факторів, які досить важко врахувати при моделюванні [2]. Сукупний вплив цих факторів відображається кривою розселення населення по території міста, яка є кінцевим результатом їх взаємодії та являє собою опис сталих закономірностей у трудових поїздках, що складають основну масу пересувань міського населення [3].

Оскільки існуючі методи побудови кривих розселення не можна вважати повністю обґрунтованими, було висунуто гіпотезу про

вплив характеристик маршрутної мережі МПТ на формування функції розселення населення. Так, придатним для опису скоригованих довжин перегонів виявився показниковий закон розподілу з параметром зсуву, рівним мінімальній довжині перегону для кожного окремого міста [4]

$$F(l'_k) = 1 - e^{-\lambda l'_k} = 1 - e^{-\lambda(l_k - l_{\min})} \quad (1)$$

$$(l'_k = l_k - l_{\min} > 0),$$

де l'_k – скоригована довжина k -го перегону; l_k – фактична довжина k -го перегону; l_{\min} – мінімальне значення довжини перегону МПТ у місті.

Інформації про причини виникнення саме такої закономірності в аналізованій літературі немає, але логічно вважати її результатом просторового розташування зупиночних пунктів (ЗП) МПТ як наслідку розвитку всього міста.

Характеристикою просторового розташування може служити закон розподілу координат ЗП $(X; Y)$. Відстані між ЗП, тобто довжини перегонів, в такому випадку можна представити як $\sqrt{X^2 + Y^2}$, якщо одну із зупинок прийняти за початок системи координат. Двовірний розподіл системи $(X; Y)$ та розподіл величини $\sqrt{X^2 + Y^2}$ можуть бути пов'язані: якщо розподіл $(X; Y)$ є двовірним нормальним, то $\sqrt{X^2 + Y^2}$ буде розподілений за законом Релея [5, 6]

$$F(l_k) = 1 - e^{-\frac{l_k^2}{2\sigma^2}} \quad (l_k > 0), \quad (2)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення l_k . Виходить, що наведені розподіл Релея та показниковий можуть бути пов'язані між собою, що потребує теоретичного обґрунтування та експериментальної перевірки.

Мета і постановка задачі

Метою даної роботи є встановлення взаємозв'язку між просторовим розташуванням ЗП та законом розподілу довжин перегонів. Виходячи з цього, гіпотеза дослідження є такою: показниковий закон розподілу довжин перегонів із параметром зсуву є наслідком розподілу фактичних довжин перегонів за законом Релея, який є похідним від зако-

номірностей просторових характеристик розташування ЗП.

Для досягнення даної мети необхідно виконати такі завдання:

- 1) перевірити можливість опису коливань фактичних довжин перегонів МПТ різних міст за допомогою розподілу Релея;
- 2) теоретично обґрунтувати взаємозв'язок між розподілом Релея та показниковим із параметром зсуву.

Методика проведення аналізу

У практиці застосування законів розподілу для опису випадкових величин подекуди спостерігається ситуація, коли одна й та сама величина може бути охарактеризована різними законами розподілу. Це не суперечить дійсності, тому що багато законів розподілу, за деяких умов, пов'язані між собою – одні за певних значень параметрів є окремими випадками інших, за деякого перетворення випадкової величини закон її розподілу може змінюватись і т.п. Даний факт часто застосовується дослідниками для зручності опису тієї чи іншої випадкової величини [5, 6]. В нашому випадку мова йде про довжини перегонів МПТ, які, згідно з висунутою гіпотезою, можна описати як показниковим законом, так і законом розподілу Релея.

З метою перевірки можливості опису коливань фактичних довжин перегонів за допомогою розподілу Релея для чотирьох міст України в одній системі координат було побудовано частотні гістограми та графіки щільності ймовірності розподілу Релея, які представлено на рис. 1–4. Оцінка відповідності між емпіричними даними та теоретичною кривою здійснювалась за величиною тесту χ^2 . Параметри отриманих законів розподілу наведено у табл. 1.

Таблиця 1 Характеристики розподілу Релея

Показник	Місто			
	Суми	Кривий Ріг	Харків	Київ
Кількість спостережень	175	372	639	2012
Параметр σ	0,42	0,57	0,54	0,41

За побудованими графіками та даними табл. 1 можна стверджувати, що гіпотеза про можливість опису фактичних довжин перегонів МПТ усіх вказаних міст за допомогою розподілу Релея не відхиляється.

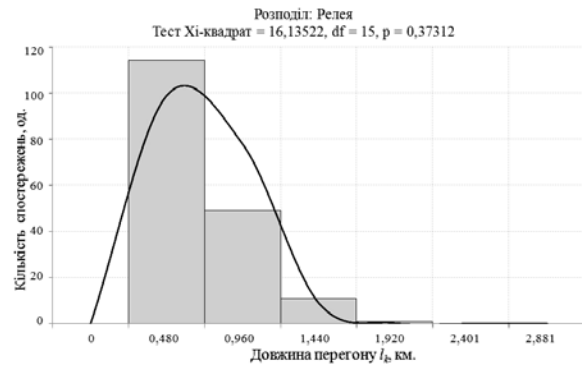


Рис. 1. Розподіл довжин перегонів м. Суми

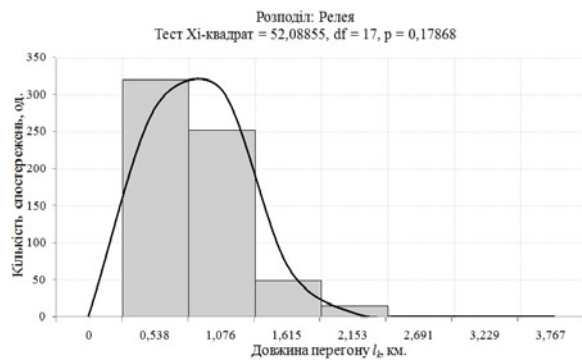


Рис. 2. Розподіл довжин перегонів м. Харків

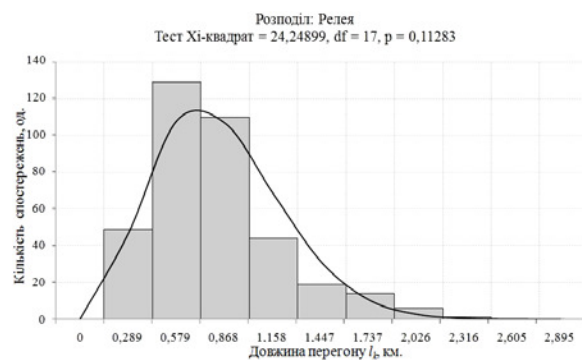


Рис. 3. Розподіл довжин перегонів м. Кривий Ріг

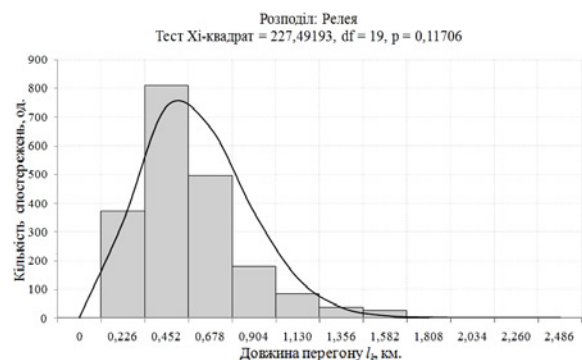


Рис. 4. Розподіл довжин перегонів м. Київ

Функція розподілу закону Релея (2) та показникового закону є тотожними за таких умов

$$\lambda = \frac{1}{2\sigma^2}, \quad (3)$$

$$l_k'' = l_k^2. \quad (4)$$

Тобто

$$F(l_k'') = 1 - e^{-\lambda l_k''} = 1 - e^{-\lambda l_k^2} \quad (l_k'' > 0). \quad (5)$$

Таким чином, взаємозв'язок між розподілом Релея та показниковим стає очевидним – квадрат випадкової величини, розподіленої за законом Релея, розподіляється за показниковим законом з параметром $\lambda = 1/(2\sigma^2)$. Однак у нашому випадку рівність (4) є не зовсім придатною до використання, оскільки довжини перегонів є лінійними та жодна з них не є квадратичною. Лінеаризацію $l_k'' = l_k^2$ можна здійснити, застосувавши розклад у ряд Тейлора в околі певної точки з відтинанням, у нашому випадку, одного – третього члена, що є нелінійним [5]

$$l_k^2 = f(l_k) = f(a) + f'(a) \cdot (l_k - a), \quad (6)$$

де a – точка, в якій здійснюється розклад; $f'(a)$ – значення першої похідної функції в точці a , тобто $f'(l_k) = (l_k^2)' = 2l_k$.

Таким чином, в результаті лінеаризації з'являється параметр зсуву довжин перегонів a , що принципово відповідає раніше виявленим закономірностям [4]. В той же час розклад у ряд Тейлора в околі певної точки a не дає повної відповідності між l_k'' та l_k' . Це пояснюється природою та обранням механізмом лінеаризації, який в загальному випадку завжди приводить до появи коефіцієнта $f'(a)$ при $(l_k - a)$ у правій частині рівності (6), і тому для розкладу $l_k'' = l_k^2$ доцільно обрати точку 0,5 км. Результатом розкладу в даній точці буде зсув фактичних довжин перегонів l_k на 0,25 км та відповідний показниковий закон розподілу

$$l_k'' = l_k - 0,25 > 0; \quad (7)$$

$$F(l_k'') = 1 - e^{-\lambda l_k''} = 1 - e^{-\lambda(l_k - 0,25)}$$

Для підтвердження висунутої гіпотези необхідно перевірити придатність показникового закону для опису величини $l_k'' = l_k - 0,25$ км. Результати такої перевірки наведено в табл. 2 та на рис. 5–8.

Таблиця 2 Характеристики показникового розподілу величини l_k''

Показник	Місто			
	Суми	Кривий Ріг	Харків	Київ
Ймовірність за тестом χ^2	0,401	0,139	0,553	0,141
Параметр λ	2,98	2,00	2,46	3,32

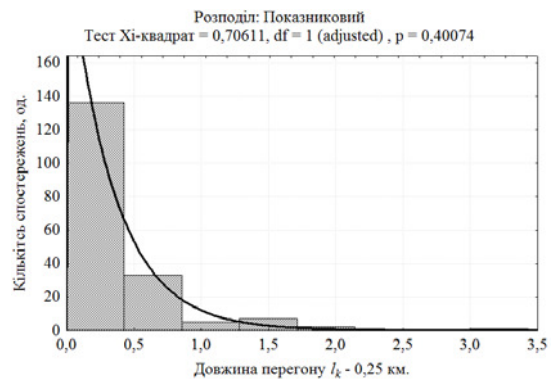


Рис. 5. Розподіл l_k'' для м. Суми

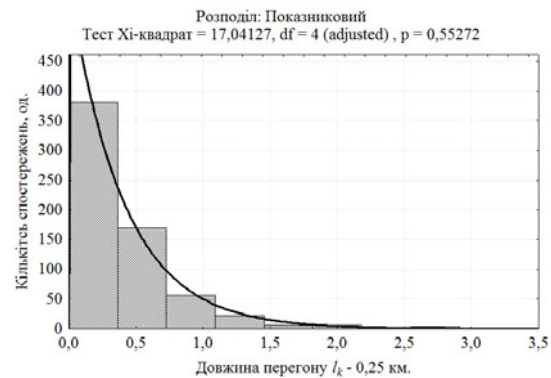


Рис. 6. Розподіл l_k'' для м. Харків

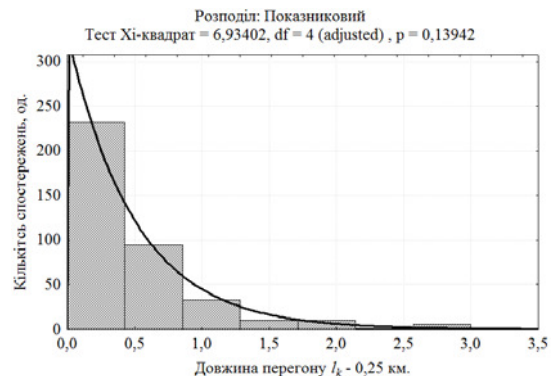


Рис. 7. Розподіл l_k'' для м. Кривий Ріг

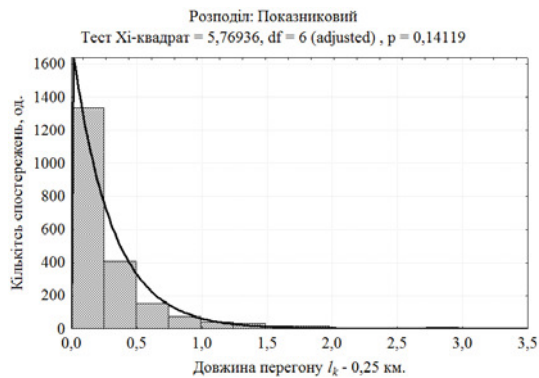


Рис. 8. Розподіл l_k'' для м. Київ

За отриманими даними можна стверджувати, що величина l_k'' є такою, що може бути описана за допомогою показникового закону.

З урахуванням залежностей (2–5) це свідчить про те, що показниковий розподіл із параметром зсуву можна вважати похідним від розподілу Релея, який, у свою чергу, є наслідком закономірностей просторових характеристик розташування ЗП. Різниця ж у величині зсуву між l_k'' та l_k' є наслідком лінеаризації, але сам факт наявності параметра зсуву при цьому заперечувати не можна.

Оскільки від 9 % до 32 % значень l_k для різних міст є меншими за 0,25 км, то такий зсув зводить їх до 0, що спотворює емпіричні дані та не може вважатися виправданим. Зсув на l_{\min} суттєво не впливає на властивості досліджуваних величин, оскільки до 0 зводиться лише одне – мінімальне значення l_k , та є обґрунтованим з точки зору врахування особливостей розглянутих міст.

У зв'язку з більшими описовими спроможностями показникового розподілу та з урахуванням виявленого між ним та розподілом Релея взаємозв'язку, в подальших дослідженнях для опису довжин перегонів доцільно використовувати показниковий закон, але з параметром зсуву, рівним мінімальній довжині перегону для кожного окремого міста.

Подальше використання саме показникового закону розподілу також підкріплюється тим, що цей закон має більш загальний характер, ніж розподіл Релея, та є більш гнучким для застосування у практиці статистичних розрахунків – він є окремим випадком деяких інших розподілів, до нього більш зручно застосовувати різні перетворення, в т.ч. і згортку

розподілів, він є більш розповсюдженим в інженерних застосуваннях теорії ймовірностей та математичної статистики з тих чи інших причин [5, 6].

Висновки

Додатковий аналіз довжин перегонів МПТ міст Суми, Харків, Кривий Ріг та Київ показав придатність розподілу Релея для опису їх коливань, але, в силу більшої описової спроможності показникового закону стосовно довжин перегонів і базуючись на тісному взаємозв'язку згаданих розподілів, перевагу для подальшого використання слід віддати показниковому розподілу з параметром зсуву на мінімальну довжину перегону МПТ.

Література

1. Feng Xie. Evolving transportation networks / Xie Feng, David M. Levinson. – Springer, 2011. – 278 p.
2. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / П.Ф. Горбачов. – Х., 2009. – 40 с.
3. Шелейховский Г.В. Композиция городского плана как проблема транспорта / Г.В. Шелейховский. – М.: Государственный институт проектирования городов «ГИПРОГОР», 1946. – 132 с.
4. Горбачов П.Ф. Статистичний опис взаємного розташування зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту / П.Ф. Горбачов, П.С. Кабалаєнц, С.В. Свічинський // Вестник ХНАДУ. – 2011. – Вып. 53. – С. 66–69.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
6. Справочник по вероятностным расчетам / Г.Г. Абергауз, А.П. Тронь, Ю.Н. Копенкин, И.А. Коровина. – 2-е изд., испр. и дополн. – М.: Военное издательство Ордена трудового красного знамени Министерства обороны СССР, 1970. – 536 с.

Рецензент: Є.В. Нагорний, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 28 березня 2012 р.