

УДК 656.072

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.1.162

## АНАЛІЗ РІЧНИХ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ ГРОМАДСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ У МІСТІ

Горбачов П. Ф., Чижик В. М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Наведено методику аналізу значень річних обсягів перевезення пасажирів маршрутною мережею, з огляду на випадковий тип величини, яку необхідно знайти.

*Ключові слова:* випадкова величина, маршрутна мережа, обсяг перевезення, середнє значення, громадський транспорт, обстеження пасажиропотоків.

### Вступ

Обсяги перевезень пасажирів на міських маршрутах є затребуваною величиною для учасників транспортного процесу. З одного боку, вони є основною соціальною характеристикою роботи маршрутного транспорту, а з іншого, випадковими величинами. Випадковість обсягів перевезень обумовлюється ймовірнісним типом попиту пасажирів на пересування та конкурентною боротьбою між різними маршрутами та підприємствами.

Основним засобом отримання інформації про обсяги перевезень пасажирів на міських маршрутах є проведення спеціальних обстежень пасажиропотоків. На сьогодні існує велика кількість методів обстеження пасажиропотоків, що дозволяють отримати значний спектр показників, які визначають поняття транспортного процесу на громадському транспорті. З огляду на потенційні можливості методів обстеження пасажиропотоків для отримання інформації про обсяги перевезень на громадських маршрутах загального користування доцільно використовувати табличний метод з розташуванням обліковців у салоні маршрутних транспортних засобів. Цей метод за умови визначених витрат ресурсів забезпечує якісні результати та додаткову інформацію, необхідну для розраховування та прогнозування кількості перевезених пасажирів.

З огляду на випадковий тип показника, який необхідно знайти, та безперервність процесу функціонування міських маршрутів будь-яке обстеження пасажиропотоків буде вибіркоким, тобто буде демонструвати лише деякий елемент всього процесу функціонування маршруту. Тому виникає необхідність проведення ймовірнісного аналізу результатів спостережень, що полягає у визначенні інтервалу можливих значень показника, який необхідно знайти

Варто зазначити, що перевірка закону розподілу випадкової величини кількості пере-

зених за рейс пасажирів з достатнім ступенем достовірності є досить складним завданням внаслідок невеликої кількості спостережень на кожному маршруті та суттєвої залежності кожного спостереження від часу та напрямку руху. За цих умов закономірності розподілу кількості перевезених за рейс пасажирів на маршрутах можуть бути невідомими, що є додатковою невизначеністю в процесі прогнозування обсягів перевезення пасажирів на маршруті за тривалий період.

### Аналіз публікацій

Функціонування громадського пасажирського транспорту в містах України регулюється низкою законодавчих та нормативних актів, за допомогою яких реалізується стратегічна мета державної політики в транспортній сфері – гарантоване та ефективне задоволення потреб у безпечному та якісному перевезенні пасажирів в умовах ринкових відносин [1, 2].

Основні аспекти роботи міського маршрутного пасажирського транспорту регулюються Законами України «Про місцеве самоврядування в Україні» від 21 травня 1997 року № 280/97-ВР (зі змінами) [3], «Про транспорт» від 10 листопада 1994 року № 232/94-ВР (зі змінами) [4], «Про автомобільний транспорт» від 05 квітня 2001 року № 2344-III (зі змінами) [5].

Закон України «Про транспорт» [4] містить такі завдання державного управління в галузі транспорту, як своєчасне, повне та якісне задоволення потреб населення й суспільного виробництва в перевезеннях та потреб оборони України; захист прав громадян під час їхнього транспортного обслуговування; безпечне функціонування транспорту; дотримання необхідних темпів і пропорцій розвитку національної транспортної системи; захист економічних інтересів України та законних інтересів підприємств і організацій транспорту та споживачів транспортних послуг; ство-

рення рівних умов для розвитку господарської діяльності підприємств транспорту; обмеження монополізму та розвиток конкуренції; координація роботи різних видів транспорту; ліцензування окремих видів діяльності в галузі транспорту; охорона навколишнього природного середовища від шкідливого впливу транспорту.

Основним способом отримання інформації про фактичний стан перевезень пасажирів на маршрутах є проведення спеціальних обстежень, загальні вимоги до організації яких визначені Наказом Міністерства інфраструктури України № 480 від 15.07.2013 «Про затвердження Порядку організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом» [6]. Згідно з цим документом обстеження мають проводитися комплексно – на всіх міських автобусних маршрутах загального користування не менше ніж один раз на три роки; вибірково – на деяких міських автобусних маршрутах загального користування або коригувально – на будь-якому маршруті.

Основними методами проведення обстежень для вивчення попиту чи аналізу рівня забезпечення потреб населення послугами пасажирського автомобільного транспорту, удосконалення маршрутної мережі, оптимізації структури рухомого складу, визначення й обґрунтування тарифів на перевезення є табличний, обліковий та візуальний методи обстеження пасажиропотоків, серед яких необхідно вибрати такий, що відповідає завданню визначення обсягів перевезень пасажирів на міських маршрутах.

Фактична кількість перевезених пасажирів, яка є основою для прогнозування обсягів перевезень, є найбільш впливовою складовою під час визначення величини тарифу на перевезення [7]. З огляду на випадковість цієї величини та відсутність автоматизованого обліку кількість перевезених пасажирів завжди є предметом дискусій між міською владою та транспортними підприємствами.

Водночас у багатьох випадках реальна кількість перевезених пасажирів відома лише людині, що здійснює збір виручки в транспортному засобі громадського транспорту. Тому базові величини обсягів перевезень, які є основою для розрахування тарифу, варто визначати в межах довірчого інтервалу кількості перевезених пасажирів, розрахованого за результатами обстеження.

### Мета та постановка завдання

Прийняття раціональних управлінських рішень щодо організації роботи громадського транспорту в містах можливе лише за умов наявності достатнього обсягу актуальної інформації про функціонування маршрутів. Визначення обсягів перевезень пасажирів на міських маршрутах загального користування є актуальним завданням, як і будь-яке інше питання щодо змін у сфері громадського транспорту та стан перевезень на маршрутах. Дані щодо цих процесів відображають актуальні умови роботи перевізників та рівень обслуговування пасажирів і, таким чином, вказують на те, наскільки громадський транспорт здійснює свою основну функцію – забезпечення пересувань населення.

У роботі вирішується завдання аналізу гарантованого обсягу перевезення пасажирів у місті за рік. З огляду на всі складнощі визначення обсягів перевезення пасажирів на маршрутах за рік їхній аналіз на основі вибіркового середнього значення кількості перевезених за рейс пасажирів може призвести до деякого спотворення результатів прогнозування. Надійність цього аналізу щодо гарантованості досягнення прогнозованого обсягу перевезень пасажирів у місті складатиме 50 %, тобто у половині з можливих значень реального річного обсягу перевезень пасажирів ці значення будуть меншими, ніж прогнозовані. Такий рівень надійності результату не завжди є достатнім через велику кількість учасників транспортного процесу. Необхідна методика, яка дозволяє підвищити надійність прогнозування та може бути використана в цьому випадку.

### Методика аналізу річних обсягів перевезення пасажирів

Підвищення надійності прогнозу можна досягти під час ймовірнісного аналізу меж інтервалу можливих значень рейсового обсягу перевезень та в разі прийняття нижньої межі інтервалу як гарантованої оцінки значення обсягу перевезень із заданою ймовірністю.

Необхідно визначити припустимий рівень помилки  $P_n$ , тобто ймовірність недосягнення обсягом перевезень нижньої межі довірчого інтервалу. Тоді довірна ймовірність інтервалу можливих значень обсягу перевезень  $P_o$  буде визначатися так:

$$P_o = 1 - 2 \cdot P_n . \quad (1)$$

Множник 2 в разі ймовірності помилки  $P_n$  обумовлений наявністю двох випадків непо-трапляння значення, яке необхідно знайти, у довірчій інтервал (його недосягнення або перевищення).

Першим варіантом розрахунку гарантованого обсягу перевезень пасажирів є його визначення за умови невідомого закону розподілу кількості перевезених за рейс пасажирів, другим – за умови нормального розподілу зазначеної випадкової величини.

За умови заданої довірчої ймовірності та невідомих закономірностей розподілу кількості перевезених за рейс пасажирів на маршрутах межі довірчого інтервалу визначаються за допомогою нерівності Чебишева для будь-якого закону розподілу випадкової величини [8]:

$$P\{|X - m| \leq K \cdot \sigma\} \geq 1 - \frac{1}{K^2}, \quad (2)$$

де  $X$  – випадкова величина кількості пасажирів, перевезених на маршруті за рейс, для якої невідомі закон розподілу та параметри  $m$  і  $\sigma$ ;  $m$  – математичне сподівання випадкової величини  $X$ ;  $\sigma$  – стандартне відхилення випадкової величини  $X$ ;  $K$  – додатна величина, що визначає межі довірчого інтервалу випадкової величини  $X$ .

Отже,

$$1 - \frac{1}{K^2} = P_0. \quad (3)$$

Тоді

$$K = \sqrt{\frac{1}{1 - P_0}}. \quad (4)$$

З огляду на (1) вираз (4) записується як

$$K = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot P_n}}. \quad (5)$$

Нижня межа довірчого інтервалу з (2) визначається як

$$X_{\min} = m - K \cdot \sigma. \quad (6)$$

Таким чином, за заданим допустимим рівнем помилки  $P_n$  для випадкової величини кількості перевезених пасажирів можна визначити нижню межу довірчого інтервалу

його математичного сподівання за наявності вибіркового середньої кількості та стандартного відхилення перевезених за рейс пасажирів. Ця величина є основою для розрахунку обсягів перевезень пасажирів за рік.

Вищезазначені залежності мають занадто широкі межі довірчого інтервалу математичного сподівання випадкової величини перевезених за рейс пасажирів, тому іноді спочатку варто перевірити гіпотезу про відповідність отриманих протягом обстеження значень кількості перевезених за рейс пасажирів на маршрутах нормального закону розподілу. У випадку, якщо ця гіпотеза не буде спростована, межі довірчого інтервалу визначаються на основі функції помилок Лапласа неелементарної функції, що використовується в теорії ймовірності та математичній статистиці [9]. Значення функції Лапласа містяться у спеціальних таблицях, з яких можна визначити величину  $K$  для залежності (6).

Порядок розрахування середнього значення та стандартного відхилення базується на теорії вибіркового методу з випадковим відбором одиниць у вибірку сукупність. Згідно з ним спочатку розраховується вибіркоче математичне сподівання досліджуваної величини – кількості перевезених за рейс пасажирів на маршруті:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}, \quad (7)$$

де  $n$  – кількість рейсів на маршруті, що обстежувались, од.,  $q_i$  – кількість пасажирів, що перебували в салоні ТЗ за рейс, пас.

З метою досягнення максимальної точності прогнозування середнє значення та стандартне відхилення розраховуються окремо:

- для кожної категорії пасажирів: платних, школярів, пільговиків, тощо;
- для різних рейсів: звичайних та пільгових;
- для вихідних та робочих днів.

Стандартне відхилення на один рейс визначається як квадратний корінь з незміщеної оцінки дисперсії кількості перевезених за рейс пасажирів:

$$\sigma = \sqrt{d}. \quad (8)$$

Незміщена оцінка дисперсії [9] на один рейс отримується за допомогою рівняння

$$d = \frac{\sum_i^n (q_i - m)^2}{n - 1}. \quad (9)$$

На наступному етапі розраховуються оцінки середнього значення та дисперсії загалом для повного дня роботи маршруту:

$$M = m \cdot N, \quad (10)$$

де  $M$  – розрахункове середнє значення обсягу перевезення пасажирів на маршруті за день, пас.;  $N$  – планова кількість рейсів відповідного виду (звичайних або пільгових) на маршруті за день, од.

Дисперсія розрахункового середнього за день роботи визначається аналогічним способом:

$$D = d \cdot N. \quad (11)$$

Після цього за залежністю (8) з використанням отриманого значення дисперсії за день роботи визначається добове значення стандартного відхилення для величини перевезених за рейс пасажирів. Також за залежністю (6), у якій отримана величина  $D = d \cdot N$  використовується як математичне сподівання  $m$ , розраховується нижня оцінка обсягу перевезення пасажирів відповідної категорії за день  $Q_{\min}$ .

Добовий обсяг перевезень пасажирів кожної категорії (платні, школярі, пільгові або всі інші категорії) визначається як сума відповідних добових обсягів перевезень за окремими категоріям рейсів (звичайні та соціальні (пільгові)):

$$Q_{\min d} = Q_{\min z} + Q_{\min c}, \quad (12)$$

де  $Q_{\min d}$  – добовий обсяг перевезень окремої категорії пасажирів (платні, школярі, пільгові або всі інші), пас.,  $Q_{\min z}$ ,  $Q_{\min c}$  – добовий обсяг перевезень окремої категорії пасажирів (платні, школярі, пільгові або всі інші) на звичайних та соціальних (пільгових) рейсах, пас. Ця величина розраховується окремо для робочих  $Q_{\min d} = Q_p$  та вихідних  $Q_{\min d} = Q_e$  днів тижня.

Для визначення точності аналізу розрахункового обсягу перевезень пасажирів на маршруті також розраховується його відносна похибка  $\Delta$  через ділення ширини довірчого інтервалу на середнє значення показника:

$$\Delta = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{m}, \quad (13)$$

де  $X_{\max}$  – верхня межа довірчого інтервалу розрахункового обсягу перевезення пасажирів на маршруті за день, пас.:

$$X_{\max} = m + K \cdot \sigma. \quad (14)$$

Перехід до річних обсягів перевезень пасажирів ґрунтується на значеннях добових обсягів перевезень пасажирів у робочі  $Q_p$  та вихідні дні  $Q_e$  за кожним маршрутом окремо, а також на місячних обсягах перевезень.

Спочатку розраховуються місячні коефіцієнти нерівномірності перевезень пасажирів:

$$k_j = \frac{Q_j \cdot 12}{\sum_i Q_i}, \quad (15)$$

де  $k_j$  – коефіцієнт нерівномірності перевезень пасажирів  $j$ -го місяця;  $Q_j$ ,  $Q_i$  – обсяг перевезень всіх категорій пасажирів у місті згідно зі звітними даними за  $j$ -й та  $i$ -й місяці, тис. пас.

Після цього здійснюється перехід від місячних коефіцієнтів нерівномірності у розрізі року до їхніх значень у робочий і вихідний день з огляду на кількість днів у кожному місяці та кількість відповідних днів обстеження, що проводились цього місяця:

$$k_p = \frac{\sum_i^{12} k_i \cdot 365 \cdot D_{(p)i}}{\sum_i^{12} D_{(p)i}}, \quad (16)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт нерівномірності перевезень пасажирів  $j$ -го місяця в робочий день;  $D_i$  – кількість днів у  $i$ -му місяці, од.;  $D_{(p)i}$  – кількість робочих днів, протягом яких здійснювалось обстеження в  $i$ -му місяці, од.

У такий самий спосіб розраховується коефіцієнт місячної нерівномірності вихідного дня  $k_e$  та розраховуються річні обсяги перевезень окремих категорій пасажирів:

$$Q_{\text{рік}} = \frac{Q_p \cdot D_p}{k_p} + \frac{Q_e \cdot D_e}{k_e}, \quad (17)$$

де  $D_p$ ,  $D_e$  – кількість робочих та вихідних днів у році, од.

На цьому етапі аналіз прогнозних обсягів перевезень пасажирів завершено.

### Висновки

Найкращим способом отримання інформації про фактичні обсяги перевезень пасажирів на міських маршрутах за умови отримання плати за проїзд безпосередньо в транспортному засобі та за наявності пільгових категорій пасажирів і пасажирів, що оплачують вартість проїзду частково, є табличний метод. Розроблена методика дозволяє здійснити перехід від обсягів перевезення пасажирів, отриманих на основі вибіркового табличного обстеження, до річних обсягів.

Відповідність вибіркового обсягу перевезень пасажирів на маршрутах закону розподілу дозволяє суттєво зменшити інтервал можливих значень прогнозованого обсягу перевезень та підвищити тим самим точність прогнозу.

Використовуючи зазначену методику, можна проаналізувати гарантований із заданою ймовірністю обсяг перевезення пасажирів у місті за рік, що дозволяє замовнику отримати додаткову інформацію під час прогнозування річних обсягів роботи громадського транспорту за середнім значенням.

### Література

1. Міністерство інфраструктури України. URL: <http://mtu.gov.ua/> (дата звернення: 30.03.2023).
2. Збірник законодавчих та нормативних документів, що регламентують діяльність підприємств автомобільного транспорту всіх форм власності. Вип. 3. Київ: ТОВ Видавництво «Київська книжкова фабрика», 2003. 608 с.
3. Про місцеве самоврядування в Україні: Закон України від 21 трав. 1997 р. № 280/97-ВР. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/> (дата звернення: 30.03.2023).
4. Про транспорт: Закон України від 10 лист. 1994 р. № 232/94-ВР. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/> (дата звернення: 15.03.2023).
5. Про автомобільний транспорт: Закон України від 05 квіт. 2001 р. № 2344-III. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua> (дата звернення: 12.03.2023).
6. Про затвердження Порядку організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом: Постанова, Наказ Кабінету Міністрів України від 15 лип. 2013 р. № 480. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/> (дата звернення: 05.03.2023).
7. Про затвердження Методики розрахунку тарифів на послуги пасажирського автомобільного транспорту: Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 17 лист. 2009 р. № 1175. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/> (дата звернення: 14.03.2023).
8. A Course in Probability Theory, Third Edition. Kai Lai Chung – Academic Press. 2020. 419 p.
9. Gnedenko B. V., Belyaev J. K., Solov'ev A. D. Mathematical methods in the reliability theory. Burlington: Academic Press, 2014. 2nd. edition. 519 p.

### References

1. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. [Ministry of Infrastructure of Ukraine]. Retrived from: <http://mtu.gov.ua/> (accessed: 30.03.2023).
2. Zbirnyk zakonodavchykh ta normatyvnykh dokumentiv, shcho rehlementuiut diialnist pidpriemstv avtomobilnoho transportu vsikh form vlasnosti. [A collection of legislative and regulatory documents governing the activities of road transport enterprises of all forms of ownership]. VKyiv: Vydavnytstvo «Kyivska knyzhkova fabryka», 2003. 608 p. [in Ukrainian].
3. Pro mistseve samovriaduvannia v Ukraini: Zakon vid 21.05.1997 № 280/97-VR. [On local self-government in Ukraine: Law of 21.05.1997 № 280/97-BP]. Retrived from: <http://zakon2.rada.gov.ua/> (accessed: 30.03.2023).
4. Pro transport: Zakon vid 10.11.1994 № 232/94-VR. [On transportation: Law of 10.11.1994 No. 232/94-BP]. Retrived from: <http://zakon3.rada.gov.ua/> (accessed: 15.03.2023).
5. Pro avtomobilnyi transport: Zakon vid 05.04.2001 № 2344-III. [On road transport: Law No. 2344-III of April 05, 2001 № 2344-III.]. Retrived from: <http://zakon5.rada.gov.ua> (accessed: 12.03.2023).
6. Pro zatverdzhennia Poriadku orhanizatsii perevezen pasazhyriv ta bahazhu avtomobilnym transportom: Kabinet Mini-striv Ukrainy; Postanova, Nakaz vid 15.07.2013 № 480. [On Approval of the Procedure for Organizing Passenger and Luggage Transportation by Road: The Cabinet of Ministers of Ukraine; Resolution, Order of 15.07.2013 No. 480]. Retrived from: <http://zakon2.rada.gov.ua/> (data accessed: 05.03.2023).
7. Pro zatverdzhennia Poriadku orhanizatsii perevezen pasazhyriv ta bahazhu avtomobilnym transportom: Kabinet Ministriv Ukrainy; Postanova, Nakaz vid 15.07.2013 № 480. [On approval of the Methodology for calculating tariffs for passenger road transport services: Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine dated 17.11.2009 No. 1175. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/> (accessed: 05.03.2023).
8. A Course in Probability Theory, Third Edition. Kai Lai Chung – Academic Press. 2020. 419 p.
9. Gnedenko B. V., Belyaev J. K., Solov'ev A. D. Mathematical methods in the reliability theory.

Burlington: Academic Press, 2014. 2nd. edition. 519 p.

**Горбачов Петро Федорович**, д.т.н., професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики, [gorbachov.pf@gmail.com](mailto:gorbachov.pf@gmail.com), тел. +38 050-303-26-22,

**Чижик Віталій Михайлович**, к.т.н., асистент кафедри транспортних систем і логістики, [chyzhyk88@gmail.com](mailto:chyzhyk88@gmail.com), тел. +38 063-954-17-02, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

### Estimation of annual volumes of public transportation in a city

**Abstract. Problem.** The task of determining the annual volumes of public transportation in a city is relevant when addressing almost any issue related to processes in the field of public transport, as it provides decision-makers with data on the actual state of passenger traffic on the routes. These data reflect the current operating conditions of carriers and the level of passenger service and thus present the extent to which public transport is fulfilling its primary task of providing transportation for the population. **Goal.** The goal is development of a methodology for calculating annual passenger transportation volumes based on a sample tabular survey of urban routes. **Methodology.** The paper presents a methodology for transitioning from passenger transportation volumes obtained based on field observations of public transport operations to annual transportation volumes. The reliability of the forecast can be improved by estimating probabilistically the boundaries of the interval of possible

values of the on-time traffic volume and accepting the lower boundary of the interval as a guaranteed estimate of the desired value of the traffic volume with a given probability. **Results.** A methodology has been developed that allows predicting the annual volume of passenger transportation by urban transport based on sample observations. It allows you to estimate the guaranteed volume of public transportation in the city for a year with a given probability, which provides the customer with additional information when forecasting the annual volume of public transport work based on the average value. **Originality.** The presented methodology consists of the new transition method from sample daily volumes of passenger transportation to total annual volumes. **Practical value.** Forecasting the volume of the passenger transportation is the most influential component in setting tariffs for transportation services. The developed methodology allows obtaining the required values of annual volumes with a high degree of accuracy, based on actual transportation volumes, and is of practical interest to local authorities.

**Key words:** random variable, route network, transportation volume, average value, public transit, route survey.

**Horbachov Peter**, DSc, Professor, Head of the Department of Transportation Systems and Logistics, [gorbachov.pf@gmail.com](mailto:gorbachov.pf@gmail.com), tel.: +38 050-303-26-22

**Chyzhyk Vitalii**, PhD, assistant of the Department of Transportation Systems and Logistics, [chyzhyk88@gmail.com](mailto:chyzhyk88@gmail.com), tel.: +38 063-954-17-02, Kharkiv National Automobile and Highway University, 61002, Yaroslava Mudrogo St, 25, Kharkiv, Ukraine.

---