

## СИСТЕМА ОБМЕЖЕНЬ НА ПАРАМЕТРИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ ГРОМАДСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

© Понкратов Д. П., Доля К. В., 2017

**Викладено новий підхід до формування системи обмежень на параметри перевезень пасажирів громадським транспортом. Розглянуто такі показники перевізного процесу: довжина маршруту, характеристики пасажиропотоку, тривалість маршрутного інтервалу та коефіцієнт використання пасажиромісткості.**

**Ключові слова:** довжина маршруту, пасажиропотік, інтервал руху, коефіцієнт використання пасажиромісткості.

D. Ponkratov, K. Dolya

## FORMATION OF SYSTEM RESTRICTIONS ON THE PARAMETERS TRANSPORT OF PASSENGERS BY PUBLIC TRANSPORT

**The questions of system restrictions formation on the parameters of passenger public transport. These parameters include: route length, passenger flow characteristics, headway duration and load factor quantity.**

**Keywords:** route length, passenger flow, headway, load factor.

**Формулювання проблеми.** Розроблення технології перевізного процесу на маршрутах міського пасажирського транспорту має розглядатись як оптимізаційне завдання, що передбачає аналіз можливих варіантів проектних рішень та вибір якнайкращого з множини можливих. Останнє формується в результаті накладення обмежень на параметри цільової функції. Певні обмеження регламентуються чинними нормативними вимогами, частина впливає із специфіки перевізного процесу. Багато показників ефективності перевізного процесу мають якісний характер, внаслідок чого їх складно оцінити та формалізувати. З урахуванням наведеного, формування системи обмежень на параметри перевізного процесу є актуальним завданням під час його оптимізації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Завдання оптимізації перевезень маршрутним пасажирським транспортом розв'язують як компромісні, враховуючи щонайменше інтереси двох учасників цього процесу: пасажирів та перевізника (транспортного підприємства) [1–8]. При цьому виходять із системи обмежень на параметри перевізного процесу, що дає змогу вилучити з розгляду заздалегідь нераціональні рішення [2]. До параметрів, на які накладають обмеження, зазвичай належать такі [1–8]: довжина маршруту, параметри пасажиропотоку, пасажиромісткість та ступінь заповнення транспортного засобу (ТЗ), інтервал (частота) руху. Слід зазначити, що підходи до вирішення цього завдання дещо відрізняються. Як зазначають автори праці [2], потрібно враховувати індивідуальні особливості кожного з маршрутів, що дає змогу отримати ефективніше рішення. Маршрутна мережа міського пасажирського транспорту містить сукупність маршрутів різної протяжності. Довжина маршруту є важливою характеристикою, що значною мірою визначає параметри перевізного процесу. Середня протяжність маршруту пов'язана з розмірами міста, його планувальними характеристиками та середньою відстанню поїздки пасажирів [6].

Маршрути більшої протяжності забезпечують меншу кількість пересадок та велику швидкість сполучення завдяки зменшенню тривалості простою на кінцевих зупинках. Вони не потребують

організації кінцевих пунктів у центральній частині міста, що зазвичай пов'язано з певними труднощами [1, 6]. Короткі маршрути забезпечують рівномірніше заповнення салону ТЗ на всій довжині маршруту та вищу регулярність руху [6].

Зазначають [5], що довжина маршруту не повинна бути меншою ніж 1,5 км. За рекомендаціями, що містяться у [1], максимальна довжина маршруту має відповідати експлуатаційній швидкості. За такої довжини тривалість рейсу становить близько 1 години і водії після рейсу отримують короткочасний відпочинок (3–5 хв) за простою ТЗ на кінцевій зупинці.

З ростом довжини маршруту спостерігається збільшення середньої відстані поїздки пасажирів, однак ця залежність не є формалізована, що потребує проведення додаткових досліджень [6].

Важливе значення для вибору параметрів перевізного процесу має інформація про пасажиропотоки, зокрема їх величину та характеристики розподілу (просторові і часові). Коефіцієнти просторової нерівномірності пасажиропотоку залежать від місцевих умов маршруту та змінюються в широких межах [8]: коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку за довжиною маршруту – від 1,13 до 2,3; коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку за напрямками у години «пік» – у межах 1,05–1,75.

Обмеження на розміри пасажиропотоку, який може бути освоєним ТЗ певної пасажиромісткості, у праці [1] пропонується виконувати, враховуючи такі міркування: мінімальне значення пасажиропотоку визначають за можливості організації перевезень ТЗ мінімальної пасажиромісткості за максимально допустимих інтервалів між ними; максимальне обмеження пасажиропотоку визначають за можливості організації перевезень ТЗ максимальної пасажиромісткості з інтервалами, меншими за мінімально допустимі.

У науковців немає єдиної думки щодо обмежень на величину маршрутного інтервалу. Мінімальне значення інтервалу за даними праць [1–3, 5] рекомендують приймати у межах від 1–2 хв, а максимальне – 10 – 20 хв.

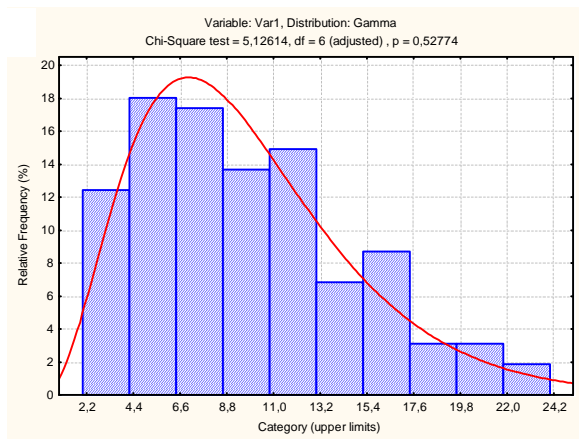
Також відрізняються й рекомендації щодо обмежень на ступінь заповнення салонів ТЗ. У статтях [1, 3, 5] наведено рекомендації щодо обмеження кількості пасажирів для проїзду стоячи у розрахунку на 1 м<sup>2</sup> підлоги салону ТЗ у межах від 3 до 8 пас./м<sup>2</sup>. Ці норми можуть бути диференційовані за періодами роботи маршруту (піковий та міжпіковий), проте не враховують характеристик нерівномірності розподілу пасажиропотоків на маршрутах, параметрів транспортних засобів, що можуть мати різне співвідношення кількості місць для проїзду стоячи та сидячи тощо.

**Формулювання мети.** Метою роботи є формування системи обмежень на параметри перевезень міським маршрутним пасажирським транспортом.

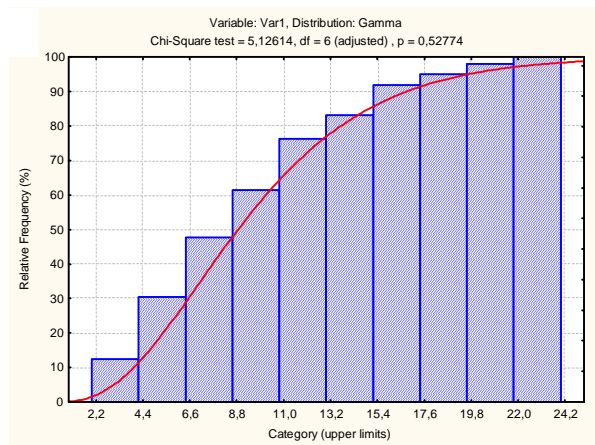
**Виклад основного матеріалу.** За результатами аналізу маршрутної системи м. Харкова встановлено, що розподіл довжини маршрутів узгоджується з імовірнісним гамма-розподілом (рисунок). Мінімальне значення маршруту становить 2,2 км, а максимальне – 23,4 км; середня довжина маршруту 9,82 км; довжина 58,4 % маршрутів не переважала 10 км та 95 % їх – до 20 км. Отже, 94,2 % довжини маршрутів м. Харкова – у межах 3–20 км. Їх можна вважати типовими.

Зі зростанням довжини маршруту міського пасажирського транспорту спостерігається тенденція до збільшення середньої відстані поїздки пасажирів та коефіцієнта змінюваності. Опрацювання дослідних даних із застосуванням регресійного аналізу дало змогу встановити, що зміна середньої відстані поїздки пасажирів та коефіцієнта змінюваності з достатнім ступенем збіжності описується логарифмічною та лінійною залежностями відповідно.

Розглядається і взаємозв'язок між довжиною маршруту ( $L_m$ ) та середньою відстанню поїздки пасажирів ( $l_{cp}$ ) та коефіцієнтом змінюваності ( $h_{zm}$ ). Опрацювання отриманих результатів натурних обстежень пасажиропотоків з використанням регресійного аналізу дало змогу встановити, що зі зростанням довжини маршруту спостерігається збільшення середньої відстані поїздки пасажирів та коефіцієнта змінюваності.



*a*



*б*

*Гістограма та теоретичні криві густини диференціального (а) та інтервального розподілу довжин маршрутів міського пасажирського транспорту у м. Харкові (б)*

Середня відстань поїздки пасажиря як функція від довжини маршруту описується залежністю:

$$l_{\text{сер}} = 1,128 + 1,215 \cdot \ln(L_M), \quad (1)$$

а залежність коефіцієнта змінності – лінійною залежністю:

$$h_{3M} = 0,791 + 0,174 \cdot L_M. \quad (2)$$

Оцінку значущості коефіцієнтів регресії визначали за критерієм Стьюдента. Розрахункові значення критерію Стьюдента для обох рівнянь перевищують табличні. Ступінь тісноти зв'язку між незалежною та залежною змінними оцінювали за коефіцієнтом кореляції. Для залежності (1) значення коефіцієнта кореляції становить 0,849, а для (2) – 0,955. Це вказує на тісний зв'язок між змінними. Оцінювали адекватність моделі за значенням середньої похибки апроксимації. Для залежностей (1) та (2) вони становили 12,20 та 12,48 % відповідно. Це дає змогу стверджувати, що зазначені регресійні рівняння описують процес, що розглядається, з достатнім рівнем адекватності та можуть бути використані для практичних розрахунків.

Транспортні засоби різної пасажиромісткості відрізняються за співвідношенням кількості місць для сидіння та проїзду стоячи і, як наслідок, забезпечують різний ступінь комфортності проїзду.

Загалом було розглянуто 36 автобусів різного класу пасажиромісткості з діапазоном від 13 до 183 пас.

Для автобусів особливо малої пасажиромісткості проїзд пасажирів здійснюється винятково сидячи ( $m = 1$ ). Проте зі зростанням пасажиромісткості значення  $m$  має тенденцію до зменшення. Середні значення  $m$  для автобусів різного класу становлять: особливо малий – 1,0; малий – 0,59; середній – 0,35; великий – 0,27; особливо великий – 0,22.

Коефіцієнт зміни пасажиромісткості описується відношенням кількості місць для сидіння у салоні ТЗ ( $q_c$ ) до номінальної його пасажиромісткості ( $q_n$ ):

$$m_i = \frac{q_c}{q_n} = 6,531 \cdot q_{ni}^{-0,691}. \quad (3)$$

Результати статистичного оцінювання значимості отриманої залежності вказують на можливість використання її для практичних розрахунків (коефіцієнт кореляції – 0,966, середня похибка апроксимації – 9,75 %).

Для оцінювання ступеня заповнення салону ТЗ використовують такі показники: коефіцієнт використання пасажиромісткості та щільність, що характеризує кількість пасажирів, яка припадає

на 1 м<sup>2</sup> підлоги ТЗ для проїзду пасажирів стоячи. Також використовують і зворотну величину до щільності, що характеризує місце, потрібне для одного пасажирів, який стоїть (м<sup>2</sup>/пас.).

З погляду оцінювання комфортності здійснення поїздки відповіднішим є другий показник, використання якого дає змогу надати якісну оцінку ступеню заповнення з позиції комфортності [1, 7]. Коефіцієнти використання пасажиромісткості набули широкого використання у практичних розрахунках. Між цими двома показниками є певна відповідність. При визначенні показника щільності пасажирів у салоні потрібно враховувати, що ТЗ різного класу відрізняються за питомою часткою кількості місць для сидіння у номінальній пасажиромісткості.

Пасажиромісткість транспортного засобу – це сума ( $q_c$ ) кількості місць для сидіння у салоні ТЗ та проїзду стоячи ( $q_{cm}$ ) [1]:

$$q_n = q_c + q_{cm} = q_c + F_{cm} a_n, \quad (4)$$

де  $F_{cm}$  – площа підлоги у салоні ТЗ для розміщення пасажирів стоячи, м<sup>2</sup>;  $a_n$  – норматив заповнення салону ТЗ, пас./м<sup>2</sup>.

Загальну (номінальну) пасажиромісткість транспортних засобів згідно з ДСТУ UN/ECE R 52-01:2005 та ДСТУ UN/ECE R 36-03:2005 визначають із розрахунку місця, потрібного для одного пасажирів, який стоїть, що дорівнює 0,125 м<sup>2</sup>/пас., якщо це не суперечить ваговим обмеженням.

Коефіцієнт використання пасажиромісткості на певному перегоні маршруту може бути представлений як відношення кількості пасажирів у салоні ТЗ за певного ступеня його заповнення ( $a_d$ ) до номінальної пасажиромісткості ТЗ:

$$g_d = \frac{q_d}{q_n}. \quad (5)$$

Враховуючи, що реальну кількість пасажирів у салоні ТЗ можна подати  $q_d = q_c + F_{cm} a_d$ , отримуємо

$$g_d = \frac{q_c + F_{cm} a_d}{q_n}. \quad (6)$$

Площа салону ТЗ для проїзду пасажирів стоячи:

$$F_{cm} = \frac{q_n - q_c}{a_n}. \quad (7)$$

Підставляючи (7) у (6), після перетворень отримуємо

$$g_d = \frac{q_c}{q_n} + \left(1 - \frac{q_c}{q_n}\right) \frac{a_d}{a_n}. \quad (8)$$

З урахуванням залежності (3)

$$g_d = m_i + (1 - m_i) \frac{a_d}{a_n} = 6,531 \cdot q_{ni}^{-0,691} + \left(1 - 6,531 \cdot q_{ni}^{-0,691}\right) \frac{a_d}{a_n}. \quad (9)$$

Середні значення наповнення ТЗ зумовлені коефіцієнтами просторової нерівномірності пасажиропотоку (за довжиною та напрямками руху на маршруті). Виникає потреба у розробленні диференційованих рекомендацій, що виходять із відповідності між параметрами просторової нерівномірності пасажиропотоку та обмеженням на рівень заповнення салону ТЗ.

Транспортні засоби певного класу пасажиромісткості мають раціональні сфери застосування, що потребує подальшого вивчення, враховуючи індивідуальні характеристики маршруту. Проте найважливішою характеристикою, що визначає вибір пасажиромісткості ТЗ, є параметри пасажиропотоку. З урахуванням положень [1], обмеження на величину пасажиропотоку, який може бути освоєний певним типом ТЗ, залежить від їх пасажиромісткості ( $q_n$ ) та прийнятих обмежень на плановий інтервал ( $I_{nl}$ ):

$$F_{\max}^{(\min)} = \frac{60}{I_{nl}^{(\max)}} q_n^{(\min)}; F_{\max}^{(\max)} = \frac{60}{I_{nl}^{(\min)}} q_n^{(\max)}, \quad (10)$$

де  $I_{nl}^{(\min)}$ ,  $I_{nl}^{(\max)}$  – відповідно мінімально та максимально допустимі планові інтервали руху ТЗ, хв.;  $q_n^{(\min)}$ ,  $q_n^{(\max)}$  – відповідно мінімальна та максимальна пасажиромісткість транспортного засобу, пас.

За  $q_n \in [13; 183]$  та приймаючи  $I_{nl} \in [1,5; 15]$  мінімальне значення пасажиропотоку, що може бути освоєно автобусами, становить 52 пас./год, а максимальне – 7320 пас./год.

**Висновки.** За результатами аналізу маршрутної системи м. Харкова встановлено, що розподіл довжин маршрутів узгоджується з гамма-розподілом випадкової величини. При цьому довжина 58,4 % маршрутів не перевищує 10 км, а для 95 % – не перевищує 20 км.

Зі зростанням пасажиромісткості автобусів питома частка кількості місць для сидіння у загальній пасажиромісткості зменшується. Середні значення для автобусів різного класу становлять: особливо малий – 1,0; малий – 0,59; середній – 0,35; великий – 0,27; особливо великої – 0,22.

Ріст довжини маршруту міського пасажирського транспорту зумовлює тенденцію до збільшення середньої відстані поїздки пасажирів та коефіцієнта змінюваності. Зміна середньої відстані поїздки пасажирів та коефіцієнта змінюваності описується логарифмічною та лінійною залежностями відповідно.

Обмеження на величину пасажиропотоку залежить від їх пасажиромісткості та прийнятих обмежень щодо маршрутного інтервалу: за  $q_n \in [13; 183]$  та  $I_{nl} \in [1,5; 15]$  мінімальне значення пасажиропотоку, що може бути освоєно ТЗ становить 52 пас./год, а максимальне значення – 7320 пас./год.

1. Ефремов И. С. Теория городских пассажирских перевозок : учеб. пособ. для вузов / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с. 2. Антошвили М. Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М. Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спириин. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с. 3. Блатнов М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки / М. Д. Блатнов. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с. 4. Доля В. К. Пасажирські перевезення: підручник / В. К. Доля. – Х.: Форт, 2010. – 504 с. 5. Спириин И. В. Перевозка пассажиров городским транспортом / И. В. Спириин. – М.: Академкнига, 2004. – 413 с. 6. Пассажирские автомобильные перевозки / Л. Л. Афанасьев, А. И. Воркут, А. Б. Дьяков, Л. Б. Миротин, Н. Б. Островский – М.: Транспорт, 1986. – 220 с. 7. Qin F. Investigating the in-vehicle crowding cost functions for public transit modes / F. Qin // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2014. – Vol. 2014. – P. 1–13. 8. Юдин В. А. Городской транспорт / В. А. Юдин, Д. С. Самойлов. – М.: Стройиздат, 1975. – 287 с.