

С. В. Нємий

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5131-8842> – С. В. Нємий

 sniemyj@ukr.net

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ЧИННИКИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИБОРУ ПАСАЖИРОМІСТКОСТІ АВТОБУСІВ ДЛЯ МІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Для користувача послугами міського автобусного транспорту – пасажир, важливими є стабільність руху автобусів на маршрутах, комфортабельність і безпека перевезень та інтервал руху. Останній показник важливий з огляду на регулярність автобусного сполучення на маршруті, насамперед своєчасна доступність до місць праці та інших видів транспорту (приміські автовокзали, залізничні вокзали і аеропорти). При цьому важливе значення мають техніко-економічні аспекти перевезень, які формують експлуатаційні витрати міських автобусних перевезень, що, у свою чергу, впливає на вартість проїзду для пасажирів.

Метою дослідження є аналіз складових, що впливають на показники автобусних маршрутів для розроблення основи для укомплектування маршрутів раціональними моделями автобусів. Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження: провести аналіз математичних моделей, що характеризують показники функціонування автобусних маршрутів – обсяг пасажиропотоків, інтервал руху автобусів на маршрутах. Дослідити адекватність планування кількості автобусів на маршруті за критеріями дотримання інтервалу руху та перевезення заданої кількості пасажирів на маршруті.

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що досліджено залежність у необхідній кількості автобусів для обслуговування маршрутів за критеріями забезпечення планового інтервалу руху і перевезення заданої кількості пасажирів на маршруті. Наведено залежність впливу пасажиромісткості автобусів на експлуатаційні витрати на перевезення.

Методи дослідження. Дослідження проведені на основі аналізу наявних даних інформаційних джерел, опитування на авторизованих автобусних транспортних підприємствах м. Львова та статистичної обробки автором експлуатаційних показників руху автобусів на міських маршрутах.

Основні результати досліджень. Наукова новизна дослідження полягає у тому, що досліджено залежність у необхідній кількості автобусів для обслуговування маршрутів за критеріями забезпечення планового інтервалу руху і перевезення заданої кількості пасажирів на маршруті. Наведено залежність впливу пасажиромісткості автобусів на експлуатаційні витрати на перевезення.

Висновки. 1. Доведено, що планування кількості автобусів на маршруті виходячи із критеріїв дотримання заданого інтервалу руху і забезпечення перевезення планової кількості пасажирів значно відрізняються між собою.

2. Обслуговування маршрутів автобусами малої пасажиромісткості, порівняно із автобусами великої пасажиромісткості, потребує значного збільшення сумарного пробігу автобусів малої пасажиромісткості для перевезення однакової кількості пасажирів і забезпечення планового інтервалу руху на маршруті. Це призводить до значного збільшення експлуатаційних витрат, не кажучи про екологічну шкоду для людей і довкілля.

Ключові слова: пасажир, графік руху на маршруті, інтервал руху, пасажирський потік, автобусний транспорт, автобусні перевезення.

TECHNICAL AND ECONOMIC FACTORS OF THE RATIONAL CHOICE OF PASSENGER CAPACITY OF BUSES FOR CITY TRANSPORTATION

Introduction. For the user of city bus transport services - a passenger - the stability of bus traffic on routes, the comfort and safety of transportation, and the interval of traffic are important. The last indicator is important in view of the regularity of bus service on the route, first of all, timely accessibility to places of work and other types of transport (suburban bus stations, railway stations and airports). At the same time, technical and economic aspects of transportation are important, which form the operating costs of city bus transportation, which in turn affects the fare for passengers.

Purpose. The purpose of the study is to analyze the components that affect the indicators of bus routes in order to develop a basis for staffing routes with rational bus models. In order to achieve the specified goal of the work, the following main tasks of the research are defined: to analyze mathematical models characterizing the performance indicators of bus routes - the volume of passenger traffic, the interval of bus traffic on the routes. Investigate the adequacy of planning the number of buses on the route according to the criteria of observing the traffic interval and transporting a given number of passengers on the route.

The scientific novelty of the research lies in the fact that the dependence of the required number of buses to service the routes according to the criteria of ensuring the planned traffic interval and the transportation of a given number of passengers on the route was investigated. The dependence of the influence of the passenger capacity of buses on the operational costs of transportation is given.

Methods. The research was carried out on the basis of the analysis of available data from information sources, a survey of authorized bus transport enterprises of the city of Lviv, and statistical processing by the author of operational indicators of bus traffic on city routes.

Results. The scientific novelty of the research lies in the fact that the dependence of the required number of buses to service the routes according to the criteria of ensuring the planned traffic interval and the transportation of a given number of passengers on the route was investigated. The dependence of the influence of the passenger capacity of buses on the operational costs of transportation is given.

Conclusions. 1. It has been proven that the planning of the number of buses on the route, based on the criteria of compliance with the specified traffic interval, and ensuring the transportation of the planned number of passengers are significantly different from each other.

2. The service of routes by buses with a small passenger capacity, compared to buses with a large passenger capacity, requires a significant increase in the total mileage of buses with a small passenger capacity to transport the same number of passengers and ensure the planned interval of traffic on the route. This leads to a significant increase in operating costs, not to mention environmental damage to people and the environment.

Keywords. Passenger, traffic schedule on the route, traffic interval, passenger flow, bus transport, bus transportation

Вступ. Для користувача послугами міського автобусного транспорту – пасажирів, важливими є стабільність руху автобусів на маршрутах, комфортабельність і безпека перевезень та інтервал руху. Останній показник важливий з огляду на регулярність автобусного сполучення на маршруті, насамперед своєчасна доступність до місць праці та інших видів транспорту (пригородні автовокзали, залізничні вокзали і аеропорти). При цьому важливе значення мають техніко-економічні аспекти перевезень, які формують експлуатаційні витрати міських автобусних перевезень, що у свою чергу, впливає на вартість проїзду для пасажирів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікації [1] відзначається, що важливим методом організації міських пасажирських перевезень є вибір автобуса для пасажирських

перевезень на міських маршрутах. Акцентовано, що у даний час при виборі моделі автобуса часто виходять із інтересів фірм перевізників, ігноруючи при цьому потреб пасажирів навіть особливості ринкових відносин. При цьому відомо, що умови перевезення об'єктивно впливають на функціональний стан пасажирів, що при певних умовах перевезення негативно впливає на їх фізичний стан. Виходячи із цього, важливим є організація таких методів пасажирських перевезень, які не призводять до надмірної транспортної стомлюваності пасажирів, що позитивно впливає на економічні і соціальні сторони їх життєдіяльності.

У публікації [2] наголошується, що в сучасному місті громадський транспорт є однією з найбільш важливих галузей господарювання, отже, стабільна робота системи міського

пасажи́рського транспорту розглядається як така, що має особливе соціальне значення, що і обґрунтовує актуальність цього дослідження. Вибір автобуса для роботи в місті, при решті еквівалентних умов, доцільно виконувати на основі характеристик паливної економічності. У зв'язку з більш ефективним використанням палива автобусами більшої місткості виникає питання про раціональну структуру міського пасажи́рського транспорту, яка б враховувала як вартісні характеристики перевезень, так і рівень надання транспортних послуг.

У статті [3] підкреслюється, що задачею організації руху міських автобусів є забезпечення високої якості пасажи́рських перевезень при їх мінімальній собівартості. Організація оптимального перевезення пасажиропотоків повинна враховувати максимальну наповненість пасажирами автобусів на маршрутах, тобто забезпечення їх максимального коефіцієнта статичного наповнення пасажирами. Підкреслено, що однією із причин низького наповнення автобусів є їх неоптимальна місткість. Оптимальний підбір типу автобуса підвищує значення середнього коефіцієнта пасажиромісткості автобусів та сприяє до зменшення інтервалів руху автобусів на маршруті. Через це конструктивна пасажиромісткість автобусів, які використовуються на міській маршрутній мережі підлягає оптимізації.

У статті [4] здійснюється розгляд шляхів вирішення проблем автобусних перевезень пасажирів на маршрутах загального користування та індивідуальних замовлень. Розглянуті можливі шляхи вирішення проблем, які мають місце при здійсненні автобусних перевезень, можуть бути обговорені спеціалістами та враховані в законодавчих і нормативно-правових актах стосовно автомобільного транспорту, що сприятиме подальшій стабілізації перевезень. Слід також зважати й на те, що 10 автобусів спричиняють куди більше сум'яття на дорозі, ніж один, а також на ту обставину, що автобус особливо малої місткості в разі виникнення дорожнього інциденту несе значно більшу небезпеку для пасажирів, що в ньому знаходяться, порівняно з автобусом великого чи особливо великого класу.

У публікації [5] проведено аналіз впливу пасажиромісткості автобусів на ефективність міських пасажи́рських перевезень. Доведено, що на напружених пасажиропотоках при використанні автобусів великої й особливо великої пасажиромісткості значно знижується собівартість перевезень, порівняно з автобусами малої пасажиромісткості.

У статті [7] проаналізовано світовий досвід з організації міського пасажи́рського транспорту. Представлено різні світові системи визначення тарифу на автобусні пасажи́рські перевезення. Описано організацію міського пасажи́рського транспорту Варшави (Польща), Стокгольма (Швеція) та Лондона (Великобританія). Проведено порівняльну характеристику їх систем організації міського пасажи́рського транспорту.

Метою дослідження є аналіз складових, що впливають на показники автобусних маршрутів для розроблення основи для укомплектування маршрутів раціональними моделями автобусів.

Для досягнення зазначеної мети роботи визначено такі основні завдання дослідження: провести аналіз математичних моделей, що характеризують показники функціонування автобусних маршрутів – обсяг пасажиропотоків, інтервал руху автобусів на маршрутах. Дослідити адекватність планування кількості автобусів на маршруті за критеріями дотримання інтервалу руху та перевезення заданої кількості пасажирів.

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що досліджено залежність у необхідній кількості автобусів для обслуговування маршрутів за критеріями забезпечення планового інтервалу руху і перевезення заданої кількості пасажирів на маршруті. Наведено залежність впливу пасажиромісткості автобусів на експлуатаційні витрати на перевезення.

Методи дослідження. Дослідження проведені на основі аналізу даних інформаційних джерел [1–4], опитування на авторизованих автобусних транспортних підприємств м. Львова та статистичної обробки автором експлуатаційних показників руху автобусів на міських маршрутах.

У загальному задаче оптимальної організації міських автобусних перевезень зводиться до мінімізації функціоналу [5]

$$E = \sum_{k=1}^m \sum_{f=1}^{n'} P_{fk} t_{ок} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \Pi_{ij} |t_{cij} + t_{nij}| \rightarrow \min, \quad (1)$$

де: $k = 1, 2, 3, \dots, n$ – маршрути автобусів;
 $f = 1, 2, 3, \dots, n'$ – зупинкові пункти на маршруті;
 m – кількість мікрорайонів міста;
 $t_{ок}$ – час очікування початку поїздки одним пасажиром на k -тому маршруті;

P_{fk} – кількість пасажирів, які очікують автобуси в зупинковому пункті k -того маршруту;
 Π_{ij} – кількість переміщень між пунктами i і j ;

t_{cij} – витрати часу одним пасажиром на слідування і пересадки при проїзді між мікрорайонами (пунктами) i та j ;

t_{nij} – час очікування пасажиром n -ного маршруту при проїзді між мікрорайонами (пунктами) i та j .

Як впливає із наведеного функціоналу (1), дискретними задачами при оптимізації міських автобусних перевезень є зменшення часу очікування початку поїздки пасажирами на маршрутах, зменшення витрат часу на поїздку і пересадки, час очікування початку поїздки на проміжних маршрутах.

Цілком очевидно, що вказані показники залежать від інтервалу руху на маршрутах. Інтервал руху автобусів I – проміжок часу (хв) між проїздом будь якого місця маршруту двома автобусами, які слідують один за одним. Інтервал руху визначають за формулою [4, 6]

$$I = \frac{t_o}{A_m}, \quad (2)$$

де: t_o – тривалість обороту автобуса, хв.;

A_m – кількість автобусів, що працюють на маршруті. За відомими характеристиками маршруту тривалість обороту автобуса визначають за формулою

$$t_o = \frac{60 \cdot 2L_m}{V_e} \text{ хв}, \quad (3)$$

де: L_m – довжина маршруту, км;

V_e – експлуатаційна швидкість руху, км/год.

За формулами (2 і 3) маємо:

$$I = \frac{60 \cdot 2L_m}{A_m V_e}. \quad (4)$$

Із формули (4) отримаємо необхідну кількість автобусів для забезпечення заданого інтервалу руху на маршруті:

$$A_m = \frac{60 \cdot 2L_m}{IV_e}. \quad (5)$$

З іншої сторони, залежно від розмірів пасажиропотоку, необхідну кількість автобусів на маршруті можна розрахувати [4, 7], виходячи із того, що кількість автобусів на маршруті визначається на основі величини пасажиропотоку на найбільш пасажиронапруженому напрямку маршруту за період „пік”:

$$A_m = \frac{Q_n \cdot 2L_m}{V_e n_{nac} \gamma_{en}}, \quad (6)$$

де: Q_n – пасажиропотік на найбільш пасажиронапруженому напрямку маршруту за період „пік” на маршруті, пас/год;

n_{nac} – номінальна пасажиромісткість автобуса, осіб [4, 7].

Промодельюємо особливості розрахунку кількості автобусів на прикладі м. Львова. За даними Управління транспорту Львівської

міської ради інтервал руху автобусів на маршрутах міста в години «пік» (8 – 10 і 16 – 19) год не повинен перевищувати 10 хв [8]. В інший час – 15...20 хв. Розрахунок проведемо для умов використання двох типів автобусів: великої місткості $n_{nac1} = 100$ (аналог автобуса моделі Електрон 185); малої місткості $n_{nac2} = 38$ (аналог автобуса моделі Еталон). В роботі [6] встановлено, що середнє значення експлуатаційної швидкості автобусів у м. Львові становить 16,5 км/год незалежно від класу автобуса. Приймаємо довжину маршруту $L_m = 15$ км, пасажиропотік на найбільш пасажиронапруженому напрямку маршруту $Q_n = 500$ пас/год при коефіцієнті використання пасажиромісткості $\gamma = 1$.

За формулою (5) при заданому інтервалі руху $I = 10$ хв для годин «пік» маємо;

$$A_m = \frac{60 \cdot 2 \cdot 15}{10 \cdot 16,5} = 10,9 = 11 \text{ автобусів.}$$

Аналогічно в інші години:

$$A_m = \frac{60 \cdot 2 \cdot 15}{15 \cdot 16,5} = 7,27 = 8 \text{ автобусів.}$$

За формулою (6) для автобусів великої пасажиромісткості в години «пік»:

$$A_m = \frac{500 \cdot 2 \cdot 15}{16,5 \cdot 100 \cdot 1} = 9,09 = 9 \text{ автобусів.}$$

Те ж в інші години (при $Q_n = 200$ пас/год):

$$A_m = \frac{200 \cdot 2 \cdot 15}{16,5 \cdot 100 \cdot 1} = 3,63 = 4 \text{ автобуси.}$$

Аналогічно, за формулою (6) для автобуса малої пасажиромісткості в години «пік»:

$$A_m = \frac{500 \cdot 2 \cdot 15}{16,5 \cdot 38 \cdot 1} = 23,92 = 24 \text{ автобуси.}$$

Те ж в інші години (при $Q_n = 200$ пас/год):

$$A_m = \frac{200 \cdot 2 \cdot 15}{16,5 \cdot 38 \cdot 1} = 9,56 = 10 \text{ автобусів.}$$

Як бачимо із результатів порівняльних розрахунків, планування кількості автобусів великої пасажиромісткості за інтервалом руху на маршруті може забезпечити перевезення певного обсягу пасажиропотоку, чого не можна стверджувати щодо використання автобусів малої пасажиромісткості.

Економічну ефективність використання автобусів обох класів проілюструємо на витратах палива при перевезенні однакової кількості пасажирів впродовж відповідного періоду експлуатації.

Якщо розглядати конкретний маршрут, то кількість перевезених пасажирів автобусами великої пасажиромісткості за пробіг L_6 (км) можна розрахувати за формулою [5]

$$Q_n = n_{nac1} \gamma \eta_{zm} L_6 / L_m, \quad (7)$$

де: η_{zm} – коефіцієнт змінності пасажирів на маршруті.

Тоді, необхідний пробіг автобусів малої пасажиромісткості [5] для перевезення цієї ж кількості пасажирів:

$$L_m = L_6 n_{nac1} / n_{nac2}. \quad (8)$$

Витрати палива при перевезенні вказаної кількості пасажирів на маршруті при використанні автобусів великої і малої пасажиромісткості визначаємо за формулою [5]

$$B_{ni} = \frac{L_6 n_{nac1} G_{100i}}{100 n_{nac2}}, \quad (9)$$

де: G_{100i} – експлуатаційні витрати палива автобусів, л/100 км.

За даними, наведеними у роботі [5], експлуатаційні витрати палива за результатами випробування на міських маршрутах становлять $G_{100\ 1} = 33,42$ л/100 км для автобусів великої пасажиромісткості і $G_{100\ 2} = 21$ л/100 км – для автобусів малої пасажиромісткості. Виходячи із цих даних порівняльні витрати палива при перевезенні вказаної кількості пасажирів на маршруті при використанні автобусів великої і малої пасажиромісткості визначаємо за формулою (9):

– великої пасажиромісткості

$$B_{n1} = \frac{L_6 \cdot 100 \cdot 33,42}{100 \cdot 100} = 0,3342 L_6 \text{ л/100км};$$

– малої пасажиромісткості

$$B_{n2} = \frac{L_6 \cdot 100 \cdot 21}{100 \cdot 38} = 0,5526 L_6 \cdot \text{л/100км}.$$

У наведених вище розрахунках замість умовного пробігу L_6 можна врахувати довжину конкретного маршруту L_m . Однак, це не впливає на існуючу техніко-економічну закономірність: при перевезенні однакової кількості пасажирів на конкретному маршруті автобусами малої пасажиромісткості витрати палива збільшуються у 1,65 разів порівняно із використанням автобусів великої пасажиромісткості.

До інших економічних категорій, які відображують використання на маршруті того чи іншого класу автобуса, крім витрати палива, відносяться витрати на запасні частини і експлуатаційні матеріали, відрахування на окупність вартості автобуса, витрати на заробітну платню водіїв. Вплив усіх названих категорій на

економічну ефективність функціонування міських маршрутів висвітлено більш детально у роботі [5].

Висновки. 1. Доведено, що планування кількості автобусів на маршруті виходячи із критеріїв дотримання заданого інтервалу руху і забезпечення перевезення планової кількості пасажирів значно відрізняються між собою.

2. Обслуговування маршрутів автобусами малої пасажиромісткості, порівняно із автобусами великої пасажиромісткості, потребує значного збільшення сумарного пробігу автобусів малої пасажиромісткості для перевезення однакової кількості пасажирів і забезпечення планового інтервалу руху на маршруті. Це призводить до значного збільшення експлуатаційних витрат, не кажучи про екологічну шкоду для людей і довкілля.

Список літератури:

1. Біліченко В. В., Цимбал С. В., Коробов С. С. Підвищення ефективності системи міських пасажирських перевезень / *Вісник машинобудування та транспорту*. Вінниця, ВМТ, вип. 1. 2018. С. 18-24.

2. Біліченко В. В., Цимбал О. В. Визначення пристосованості автобусів до роботи на міських маршрутах пасажирських перевезень. ВМТ, вип. 15, вип. 1. 2022. С. 3-10.

3. Шматко Д. З., Сасов О. О., Бондюк Д. М. Підвищення ефективності використання автобусів загального користування на маршрутах розвезення міста Кам'янського / *Математичне моделювання*, 2022, № 2 (47). С. 70 – 75.

4. Тарасенко О.М., Гуца О.О. Автобусні перевезення: проблеми та їх вирішення / *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. К.: НТУ 2020. Вип.8. С. 48-51.

5. Немий С. В. Ефективність міських пасажирських перевезень в залежності від пасажиромісткості автобусів / *Автомобільний транспорт*. Харків, 2019, вип.(45). С. 62-70.

6. Немий С. В. Дослідження швидкісного режиму руху міських автобусів / *Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів»*. 2016 № 838. С. 202-211.

7. Богаченко М. В. Світовий досвід організації міського пасажирського транспорту / *Світове господарство і міжнародні економічні відносини*. Вип. 4-1 (43) 2017. С. 21-25.

8. https://tvoemisto.tv/news/interval_ruchu_avto_busiv_u_lvovi_u_godynypik

References:

1. Bilichenko V. V., Tsybmal, S. V., Korobov S. S. (2018). Increasing the efficiency of the urban passenger transportation system [Pidvyshchennia efektyvnosti systemy miskykh pasazhyrskykh

perevezen] / *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu, Vinnytsia*. VMT, vyp. 1. S. 18-24.

2. Bilichenko V. V., Tymbal S. V., Tymbal O. V. (2022). Determining the adaptability of buses to work on urban passenger transport routes [Vyznachennia prystosovanosti avtobusiv do roboty na miskykh marshrutakh pasazhyrskykh perevezen]. VMT, vyp. 15. S. 3-10.

3. Shmatko D. Z., Sasov O. O., Bondiuk D. M. (2022). Increasing the efficiency of the use of public buses on transportation routes of the city of Kamianskyi [Pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia avtobusiv zahalnoho korystuvannia na marshrutakh rozvezennia mista Kam'ianskoho] / *Matematychni modeliuvannia*. № 2 (47). S. 70-75.

4. Tarasenko O.M., Gushcha O.O. (2017). Bus transportation: problems and their solutions [Avtobusni perevezennia: problemy ta yikh vyrishennia] / *Svitove hospodarstvo i mizhnarodni ekonomichni vidnosyny*. Vyp. 4-1 (43). S. 21-25.

5. Niemyi S. V. (2019). Efficiency of urban passenger transportation depending on the passenger capacity of buses [Efektyvnist miskykh pasazhyrskykh perevezen v zalezhnosti vid pasazhyromistkosti avtobusiv] / *Avtomobilnyi transport*. Kharkiv, vyp.(45). S. 62-70.

6. Niemyi S. V. (2016). Study of the speed regime of city buses [Doslidzhennia shvydkisnoho rezhymu rukhu miskykh avtobusiv] / *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» «Dynamika, mitsnist ta proektuvannia mashyn i pryladiv»*. № 838. S. 202-211.

7. Bogachenko M. V. (2017). World experience of the organization of urban passenger transport [Svitovi dosvid orhanizatsii miskoho pasazhyrskoho transportu] / *Svitove hospodarstvo i mizhnarodni ekonomichni vidnosyny*. Vyp. 4-1 (43). S. 21-25.

8. https://tvoemisto.tv/news/interval_ruchu_avtobusiv_u_lvovi_u_godynypik

© С. В. Не́мий, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 30.10.2023.

Прийнято до публікації 01.12.2023.