

РАЦІОНАЛЬНІ СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ АВТОБУСІВ РІЗНОГО КЛАСУ ПАСАЖИРОМІСТКОСТІ

Понкратов Д. П.¹, Давідіч Н. В.¹,

¹Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова

Анотація. Розглянуто питання визначення раціональних сфер використання автобусів різного класу пасажиромісткості як оптимізаційне завдання. Як керовані змінні було застосовано потужність пасажиропотоку та ступінь заповнення салону автобуса на найбільш завантаженому перегоні маршруту. Запропоновано рекомендації щодо застосування автобусів різного класу пасажиромісткості залежно від потужності пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту.

Ключові слова: міський пасажирський транспорт, пасажиромісткість транспортного засобу, пасажиропотік, ступінь заповнення салону автобуса.

Вступ

Одним із ключових питань організації міських пасажирських перевезень є вибір пасажиромісткості транспортних засобів для роботи на маршрутах. Пасажиромісткість має широкий діапазон зміни, що є підставою поділу автобусів на класи (особливо малий, малий, середній, великий, особливо великий). Застосування автобусів певного класу пасажиромісткості має раціональні сфери, що зумовлено низкою параметрів, які характеризують процес формування попиту на транспортне обслуговування (величина попиту, просторова та часова нерівномірність).

Вибір параметрів міських перевезень має виконуватись щонайменше з урахуванням інтересів двох учасників процесу перевезень, тобто перевізника та пасажирів. За визначеної величини попиту на транспортне обслуговування застосування автобусів певної пасажиромісткості визначає інші параметри перевізного процесу, такі як: їх потрібна кількість, інтервали та частота руху тощо. Від цих параметрів, у кінцевому випадку, залежать показники результативності перевізного процесу.

Мета і постановка завдання

Метою статті є визначення раціональних сфер використання автобусів різного класу пасажиромісткості. Для її досягнення необхідно вирішити наступні завдання: провести розрахунок оптимальної пасажиромісткості автобусів за змінної величини пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту; визначити граничні значення пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту, що може бути засвоєний

певним класам пасажиромісткості; розробити рекомендації щодо раціональних сфер використання автобусів різного класу пасажиромісткості.

Аналіз публікацій

Вибір пасажиромісткості транспортних засобів для роботи на міських маршрутах зумовлений впливом значної кількості факторів, що можуть бути поділені на такі групи [1]: економічні, соціальні, технічні, експлуатаційні та нормативні. Проте найважливішим фактором, що має бути врахований при вирішенні цього завдання, є параметри пасажиропотоку, бо вони є об'єктивною характеристикою попиту на перевезення [1–15].

Загалом, завдання вибору пасажиромісткості автобусів вирішують як оптимізаційне. Наприклад, у праці [1] як критерій оптимізації використовують приведені народногосподарські витрати, що являють собою суму витрат часу пасажирів у грошовому вимірі на очікування автобусів на зупинках та витрат автотранспортного підприємства, що пов'язані з експлуатацією маршруту. Як керовані змінні автори використовують пасажиромісткість автобуса та їх кількість. Обмеження накладаються на пасажиромісткість автобуса, їх мінімальну та максимальну кількість, мінімально допустиму якість обслуговування пасажирів. Останнє обмеження формалізовано, виходячи із вимоги щодо надання такої кількості пасажиромісць на маршруті за певний період, що була б меншою, ніж пасажиропотік на найбільш пасажиронапруженому перегоні. Для знаходження такого поєднання місткості й кількості автобусів, за якого до-

сягається мінімальне значення цільової функції, використано метод релаксаційного пошуку оптимального рішення.

У працях [2–9] автори також застосовують метод оптимізації для вирішення завдання вибору частоти руху та розміру автобуса. Вирішення цього завдання проведено аналітично. При цьому автори наголошують на необхідності урахування таких особливостей перевізного процесу: час обертів залежить від частоти руху та величини попиту; можливість розгляду декількох періодів роботи маршруту, що характеризуються зміною попиту на перевезення (ранкова та вечірня години пік, міжпіковий період); залежність експлуатаційних витрат від пасажиромісткості автобуса; залежність вартісної оцінки витрат часу пасажирів від ступеня заповнення салону транспортного засобу тощо.

Дещо інший підхід використовують автори праці [10], які пропонують визначити оптимальні моделі автобусів для здійснення міських пасажирських перевезень із застосуванням методів теорії ігор.

Проте слід зазначити, що питанню визначення раціональних сфер використання автобусів різного класу пасажиромісткості у працях [1–10] не приділено достатньої уваги. Натомість праці [11, 13] містять рекомендації щодо використання автобусів різної пасажиромісткості за певної величини пасажиропотоку. У праці [11] наведено такі діапазони: за величини пасажиропотоку до 350 пас./год пропонується застосовувати автобуси місткістю 30–35 пас.; від 351 до 700 пас./год – 50–60 пас.; від 701 до 1000 пас./год – 80–85 пас.; за величини пасажиропотоку більше 1000 пас./год місткість автобусів має бути 100–120 пас.

У праці [12] зазначено дещо інші діапазони пасажиропотоку, за яких доцільно використовувати автобуси певного класу пасажиромісткості: до 1000 пас./год – малий або середній клас; від 1000 до 1800 пас./год – середній або великий; від 1800 до 2600 пас./год – великий (80–95 місць); від 2600 до 3200 пас./год – великий (95–115 місць); більш ніж 3200 пас./год – особливо великий. Як зазначає автор, ці рекомендації слід розглядати як орієнтовні та остаточний вибір марки автобуса слід виконувати на підставі порівняння результатів економічного розрахунку для декількох альтернативних варіантів рішень.

Таким чином, аналіз наявних досліджень проблеми вибору пасажиромісткості транспортних засобів для здійснення міських пасажирських перевезень показав, що вони є недостатньо погодженими та потребують подальшого вивчення.

Дослідження раціональних сфер використання автобусів різного класу пасажиромісткості

Для визначення раціональних сфер застосування автобусів різного класу пасажиромісткості використовували цільову функцію, що наведена у праці [14], з урахуванням системи обмежень на параметри перевізного процесу [15]. Цільова функція передбачає мінімізацію сукупних витрат перевізника та пасажирів, величина яких зумовлена параметрами перевізного процесу. Параметри пасажиропотоку в даному випадку розглядаються як сталі величини. Проте більш широкий підхід передбачає розгляд змінних характеристик пасажиропотоку. У такому випадку слід розглядати взаємозв'язок між параметрами роботи маршруту та характеристиками вибору пасажиромісткості шляху пересування, що зумовлений їх індивідуальними характеристиками (вік, рівень доходів, тип нервової системи тощо).

Вхідні дані для проведення розрахунків було поділено на такі групи: характеристики маршруту міського пасажирського транспорту; показники пасажиропотоку на маршруті; характеристики пасажирів; параметри маршрутної мережі та містобудівні фактори. Числові значення зазначених чинників наведені у табл. 1.

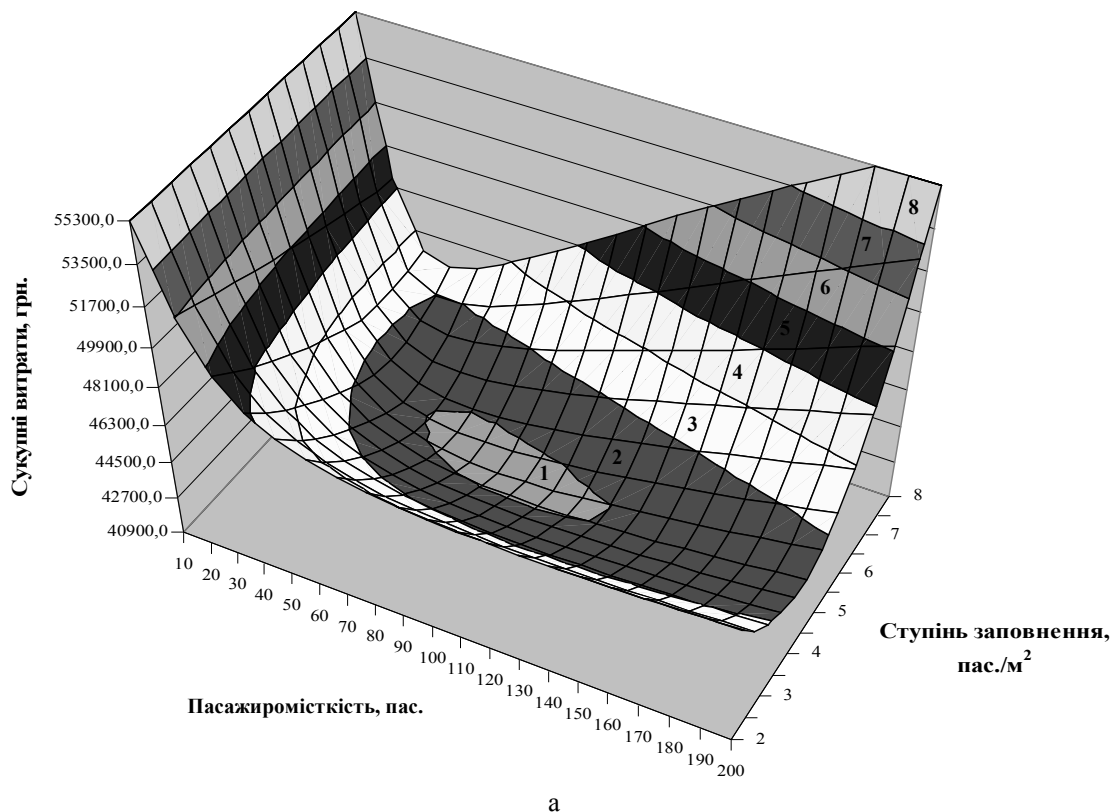
Як керовані змінні було розглянуто потужність пасажиропотоку (F_{\max} , пас./год) та ступінь заповнення салону автобуса на найбільш завантаженому перегоні маршруту (α_{\max} , пас./м²). Значення F_{\max} варіювали у межах від 50 до 5400 пас./год, а α_{\max} мав діапазон зміни від 2 до 8 пас./м².

Наприклад, залежність сукупних витрат від пасажиромісткості автобуса та α_{\max} при $F_{\max} = 1200$ пас./год подано на рис. 1.

За такої величини пасажиропотоку мінімум цільової функції досягається при використанні автобусів пасажиромісткістю 90 пас. Результати розрахунків, проведених за інших значень пасажиропотоку, наведені у табл. 2.

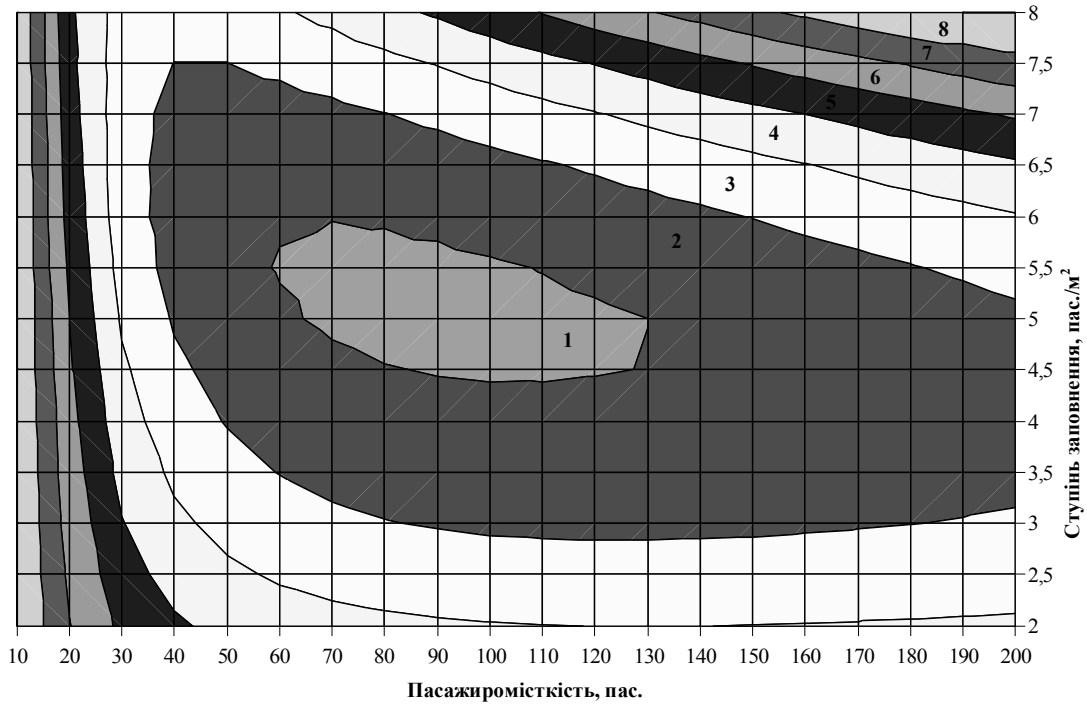
Таблиця 1 – Вхідні дані для розрахунку

№ з/п	Група показників	Показник	Розмірність	Значення показника
1	Характеристики маршруту міського пасажирського транспорту	Довжина маршруту	км	10
2		Швидкість сполучення	км/год	22
3		Експлуатаційна швидкість	км/год	20
4		Час оберт	хв	60
5		Середня довжина перегону на маршруті	км	0,85
6	Показники пасажиропотоку на маршруті	Пасажиропотік на найбільш завантаженому перегоні маршруту	пас./год	50; 120; 200; 350; 500; 800; 1200; 2500; 3200; 5400
7		Коефіцієнт змінюваності	–	2,4
8		Коефіцієнт нерівномірності по довжині маршруту	–	1,45
9		Коефіцієнт нерівномірності за напрямками руху на маршруті	–	1,6
10	Характеристики пасажирів	Вартість години вільного часу пасажир	грн/год	27,14
11		Швидкість руху пішохода	км/год	4
12		Середній дохід пасажир за місяць	грн	6660
13		Кількість днів робочих у місяці	днів	24
14		Початкове значення показника функціонального стану пасажир	бали	2
15	Характеристики маршрутної мережі та містобудівні фактори	Щільність маршрутної мережі	км/км ²	2,4
16		Коефіцієнт вибору зупинного пункту	–	1,16
17		Коефіцієнт непрямолінійності пішохідного підходу	–	1,2



а

Рис. 1. Діаграми залежності сукупних витрат від пасажиромісткості автобуса та ступеня заповнення на найбільш пасажиронапруженому перегоні маршруту ($F_{\max} = 1200$ пас./год): а – поверхнева (початок)



б

Рис. 1. Діаграми залежності сукупних витрат від пасажиромісткості автобуса та ступеня заповнення на найбільш пасажиронапруженому перегоні маршруту ($F_{\max} = 1200$ пас./год): б – контурна: **1** – 40900,0–42700,0 грн; **2** – 42700,0–44500,0 грн; **3** – 44500,0–46300,0 грн; **4** – 46300,0–48100,0 грн; **5** – 48100,0–49900,0 грн; **6** – 49900,0–51700,0 грн; **7** – 51700,0–53500,0 грн; **8** – 53500,0–55300,0 грн (закінчення)

Таблиця 2 – Результати оцінки впливу величини пасажиропотоку на оптимальне значення пасажиромісткості автобуса

F_{\max} , пас./год	50	120	200	350	500	800	1200	2500	3200	5400
Оптимальна пасажиромісткість ($q_{n(\text{опт})}$), пас.	20	30	40	50	60	70	90	110	130	160

В результаті статистичної обробки наведених даних (табл. 2) було встановлено, що залежність $q_{n(\text{опт})}$ від F_{\max} з достатнім ступенем адекватності описується регресійним рівнянням

$$q_{n(\text{опт})} = a \cdot F_{\max}^b, \quad (1)$$

де a , b – параметри моделі ($a=3,754$, $b=0,439$).

Виходячи з формули (1), шляхом перетворень було отримано залежність для визначення граничних значень F_{\max} , що може бути засвоєний автобусами класу пасажиромісткості φ

$$F_{\max}^{\min \varphi} = b \sqrt{\frac{q_{\text{н}}^{\min \varphi}}{a}}; \quad (2)$$

$$F_{\max}^{\max \varphi} = b \sqrt{\frac{q_{\text{н}}^{\max \varphi}}{a}}, \quad (3)$$

де $q_{\text{н}}^{\min \varphi}$, $q_{\text{н}}^{\max \varphi}$ – відповідно граничні значення (мінімальне та максимальне) пасажиромісткості автобусів класу φ , пас. Значення $q_{\text{н}}^{\min \varphi}$ та $q_{\text{н}}^{\max \varphi}$ визначали на підставі даних праці [12].

Графічну інтерпретацію отриманих результатів подано на рис. 2.

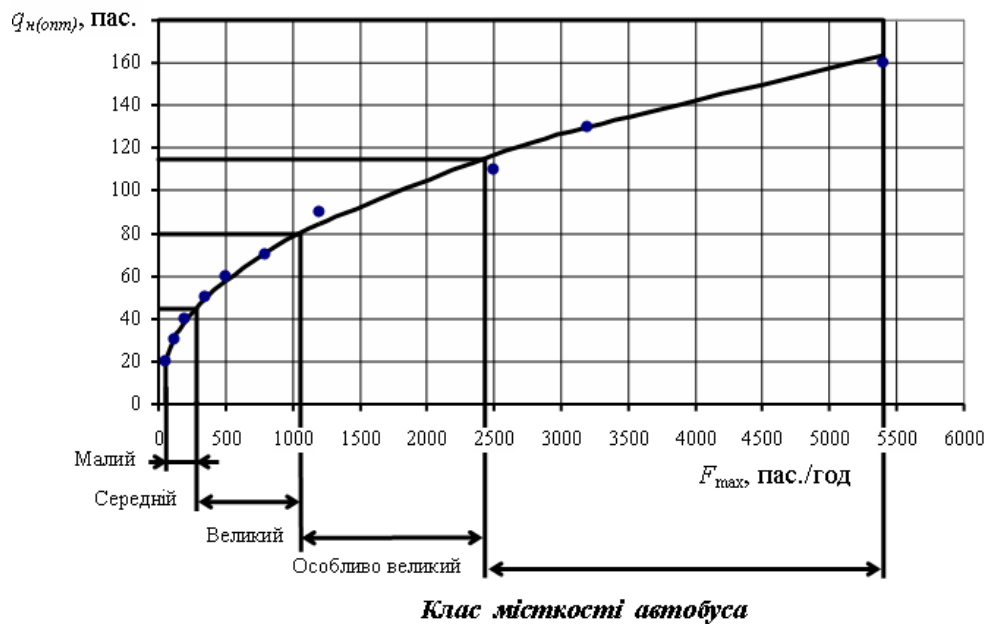


Рис. 2. Раціональні сфери застосування автобусів різного класу пасажиромісткості залежно від величини пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту

Як бачимо, кожен клас автобусів за пасажиромісткістю має певні раціональні сфери використання.

Висновки

За використаних вхідних даних раціональні сфери застосування автобусів різного класу пасажиромісткості мають такі діапазони пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту: від 50 до 280 пас./год – малий; від 280 до 1100 пас./год – середній; від 1100 до 2450 пас./год – великий; від 2450 до 5400 пас./год – особливо великий.

Проте, слід зазначити, що наведені діапазони відповідають тим вхідним даним, за яких були отримані. Як наслідок їх не можна вважати типовими, оскільки параметри роботи маршрутів та пасажиропотоку на різних маршрутах можуть суттєво відрізнятись. Виникає потреба у більш широкому дослідженні впливу факторів, що зумовлюють раціональні сфери використання автобусів різного класу пасажиромісткості. Це являє собою напрямок подальших досліджень.

Література

1. Антошвили М. Е., Либерман С. Ю., Спирин И. В. Оптимизация городских автобусных перевозок. М.: Транспорт. 1985. 102 с.
2. Jansson J. O. A simple bus line model for optimization of service frequency and bus size. *Journal*

- of *Transport Economics and Policy*. 1980. № 14. pp. 53-80.
3. Jara-Díaz S., Gschwender A. Towards a general microeconomic model for the operation of public transport. *Transport Reviews*. 2003. Vol. 23. № 4. pp. 453-469.
4. Kim M., Schonfeld P. Conventional, flexible, and variable-type bus services. *Journal of Transportation Engineering*. 2011. Vol. 138. № 3. pp. 263-273.
5. Moccia L., Laporte G. Improved models for technology choice in a transit corridor with fixed demand. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2016. Vol. 83. pp. 245-270.
6. Tirachini A., Hensher D. A., Jara-Díaz S. R. Re-stating modal investment priority with an improved model for public transport analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2010. Vol. 46. № 6. pp. 1148-1168.
7. Dell'olio L., Ibeas A., Ruisánchez F. Optimizing bus-size and headway in transit networks. *Transportation*. 2012. Vol. 39. № 2. pp. 449-464.
8. Ruisanchez F., dell'Olío L., Ibeas A. Design of a tabu search algorithm for assigning optimal bus sizes and frequencies in urban transport services. *Journal of Advanced Transportation*. 2012. Vol. 46. № 4. pp. 366-377.
9. Jara-Díaz S. R., Gschwender A. The effect of financial constraints on the optimal design of public transport services. *Transportation*. 2009. Vol. 36. № 1. pp. 65-75.
10. Нагорный Е. В., Наумов В. С., Токарев К. А. Определение оптимальных моделей автобусов при городских пассажирских перевозках. *Ав-*

- томобильный транспорт*. Харьков. 2006. № 20. С. 75-78.
11. Афанасьев Л. Л., Цукерберг С. М. Автомобильные перевозки. Москва: Транспорт, 1973. 320 с.
 12. Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. Москва: Академия, 2010. 400 с.
 13. Пассажирыские автомобильные перевозки. под ред. Н. Б. Островского. М.: Транспорт, 1986. 220 с.
 14. Доля В. К., Понкратов Д. П. Цільова функція вибору пасажиромісткості транспортних засобів на міських маршрутах. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2016. № 161. С. 44-52.
 15. Понкратов Д. П., Доля К. В. Система обмежень на параметри перевезень пасажирів громадським транспортом. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»: збірник наукових праць*. Серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. 2017. № 866. С. 216-220.
- ### References
1. Antoshvili M. Ye., Liberman S. YU., Spirin I. V. (1985). Optimizatsiya gorodskikh avtobusnykh perevozk [Optimization of urban bus transportation]. Moskva: *Transport* [in Russian].
 2. Jansson J. O. (1980). A simple bus line model for optimization of service frequency and bus size. *Journal of Transport Economics and Policy*. 14, 53-80.
 3. Jara-Díaz S., Gschwender A. (2003). Towards a general microeconomic model for the operation of public transport. *Transport Reviews*. 23, 4, 453-469.
 4. Kim M., Schonfeld P. (2011). Conventional, flexible, and variable-type bus services. *Journal of Transportation Engineering*. 138, 3, 263-273.
 5. Moccia L., Laporte G. (2016). Improved models for technology choice in a transit corridor with fixed demand. *Transportation Research Part B: Methodological*. 83, 245-270.
 6. Tirachini A., Hensher D. A., Jara-Díaz S. R. (2010). Restating modal investment priority with an improved model for public transport analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 46, 6, 1148-1168.
 7. Dell'olio L., Ibeas A., Ruisánchez F. (2012). Optimizing bus-size and headway in transit networks. *Transportation*. 39, 2, 449-464.
 8. Ruisánchez F., dell'Olío L., Ibeas A. (2012). Design of a tabu search algorithm for assigning optimal bus sizes and frequencies in urban transport services. *Journal of Advanced Transportation*. 46, 4, 366-377.
 9. Jara-Díaz S. R., Gschwender A. (2009). The effect of financial constraints on the optimal design of public transport services. *Transportation*. 36, 1, 65-75.
 10. Nagornyy Ye. V., Naumov V. S., Tokarev K. A. (2006). Opredeleniye optimal'nykh modeley avtobusov pri gorodskikh passa-zhirskikh perevozkakh [Determination of the optimal models of buses in urban passenger traffic]. *Avtomobil'nyy transport*. Har'kov. 20, 75-78.
 11. Afanas'yev L. L., Tsukerberg S. M. (1973). *Avtomobil'nyye perevozki* [Automobile transportation]. Moskva: *Transport* [in Russian].
 12. Spirin I. V. (2010). Organizatsiya i upravleniye passazhirskimi avtomobil'nyimi perevozkami [Operating and management in passenger automobile transportation]. Moskva: *Akademiya* [in Russian].
 13. *Passazhirskiye avtomobil'nyye perevozki* (1986). [Passenger automobile transportation] / pod. red N. B. Ostrovskogo. Moskva: *Transport* [in Russian].
 14. Dolya V. K., Ponkratov D. P. (2016). Tsil'ova funktsiya viboru pasazhiromistkostí transportnykh zasobiv na mis'kikh marshrutakh [Objective function of vehicles capacity choice for public transit routes]. *Sbornik nauchnykh trudov. Ukraïnskogo derzhavnogo univërsitetu zaliznichnogo transportu*. 161, 44-52 [in Ukrainian].
 15. Ponkratov D. P., Dolya K. V. (2017). Sistema obmezhen' na parametri perevezen' pasazhiriv gromads'kim transportom [Formation of system restrictions on the parameters of transportation by passenger public transport]. *Visnik natsional'nogo univërsitetu «L'viv'ska politekhniká»: zbirnik naukovikh prats'*. Seriya: Dinamika, mitsnist' i proyektnyye turny i priladiv. 866, 216-220 [in Ukrainian].
- Понкратов Денис Павлович**¹, к.т.н., доц. кафедри транспортних систем і логістики, тел. +38 097-687-38-27, dpponkratov@gmail.com,
Давідч Наталія Василівна¹, к.т.н., ст. викл. кафедри управління проектами у міському господарстві і будівництві, тел. +38 057-707-31-32, pmkaf@kname.edu.ua.
- ¹Харківський національний університет міського господарства імені А. Н. Бекетова, 61002, Україна, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.
- Рациональные сферы использования автобусов различного класса пассажироместимости**
Аннотация. Рассмотрен вопрос определения рациональных сфер использования автобусов различного класса пассажироместимости как оптимизационная задача. В качестве управляемых переменных были использованы мощность пассажиропотока и степень заполнения салона автобуса на наиболее загруженном перегоне маршрута. Предложены рекомендации относительно использования автобусов различного класса пассажироместимости в зависимости от мощности пассажиропотока на наиболее загруженном перегоне маршрута.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, пассажировместимость транспортного средства, пассажиропоток, степень заполнения салона автобуса.

Понкратов Денис Павлович¹, к.т.н., доц. кафедры транспортных систем и логистики,

тел. +38 097-687-38-27, dpponkratov@gmail.com,

Давидич Наталья Васильевна¹, к.т.н., ст. преп. кафедры управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, тел. +38 057-707-31-32, pmkaf@kname.edu.ua.

¹Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Маршала Бажанова, 17.

Rational areas of using buses of different classes of passenger capacity

Abstract. Problem. One of the key issues of the public transit operating is the choice of vehicles passenger capacity. This parameter has a wide range of variation and the basis arises for the segregation of buses into classes. The use of buses of a certain class of passenger capacity has rational areas, due to a quantity of parameters characterizing the process of demand formation in transit services (passenger flow volume, its spatial and temporal dynamics, etc.). An analysis of existing research of vehicles capacity choice for route operating has shown that they are not well-coordinated and require further research.

Goal. The purpose of the article is to determine the rational areas of using the buses of different classes of passenger capacity. **Methodology.** Mathematical formulations of the problem have been concerned with minimizing of overall costs, that measure as a combination of user and operator costs. As operated

variables, the passenger flow and the load factor on the maximum load section of the route were used.

Results. As a result, recommendations for using different bus classes of capacity were proposed. For the applied input data, rational areas of using buses of different classes of passenger capacity have the following ranges of passenger flow on the maximum load section of the route: from 50 to 280 pass./hour – small capacity buses; from 280 to 1100 pass./hour – medium capacity buses; from 1100 to 2450 pass./hour – large capacity buses; from 2450 to 5400 pass./hour – especially large capacity buses.

Originality. In contrast to the existing, the proposed approach allows two-factor optimization by passenger capacity and passenger density parameters and takes into account various route parameters, in particular, the characteristics of passenger spatial flow dynamics. **Practical value.** The obtained results can be used for public transit planning and operation tasks solving, in particular, of vehicles capacity choice on the bus routes. The vehicle capacity defined other parameters of transportation such as headway, service frequency, etc.

Key words: public transit, vehiclepassenger capacity, passenger flow, passenger density.

Ponkratov D.¹, Ph. D. (Eng.), Assoc. Prof., department of transport system and logistic,

tel. +38 097-687-38-27, dpponkratov@gmail.com,

Davidich N.¹, Ph. D. (Eng.), senior lector, department of project management in municipal services and construction, tel. +38 057-707-31-32, pmkaf@kname.edu.ua.

¹O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17, Marshala Bazhanova Street, Kharkiv, 61002, Ukraine.