

Д.П. Понкратов

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна***ФОРМАЛІЗАЦІЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ РІВНЯ ЗАПОВНЕННЯ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

У статті представлено розрахункові залежності взаємозв'язку між показниками рівня заповнення салону міського пасажирського транспортного засобу. Встановлено, що взаємозв'язок між розглянутими показниками цілком визначається такими параметрами як питома вага кількості місць для проїзду пасажирів сидячі у номінальній пасажиромісткості транспортного засобу та нормативною щільністю заповнення за якої визначено його номінальну місткість.

Ключові слова: міський пасажирський транспорт, пасажирські перевезення, пасажиромісткість, транспортного засобу, рівень заповнення салону, коефіцієнт використання пасажиромісткості.

Постановка проблеми

Робота міського пасажирського транспорту має забезпечувати високий рівень транспортного обслуговування пасажирів. Не зважаючи на комплексний характер показника рівня транспортного обслуговування одним з його найважливіших одиничних чинників є ступінь заповнення транспортного засобу. Надмірне заповнення салону транспортного засобу є причиною відчуття пасажирами дискомфорту при здійсненні поїздки. Внаслідок цього, рівень заповнення підлягає нормуванню.

Оцінку рівня заповнення салону транспортних засобів проводять з використанням різних показників, що мають відмінність у одиницях вимірювання, описових властивостях, умовах застосування тощо. Водночас, це ускладнює оцінку та порівняльний аналіз умов здійснення поїздки виходячи з рівня заповнення при використанні різних вимірювачів цієї величини, як при проведенні наукових досліджень, так і при вирішенні практичних завдань організації перевезень пасажирів у містах. Зважаючи на зазначене, формалізація взаємозв'язку між показниками рівня заповнення міських пасажирських транспортних засобів є актуальним завданням, що потребує вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Результати чисельних досліджень вказують на низку негативних наслідків переповнення міських пасажирських транспортних засобів [1 - 13]. Автори праці [1] зазначають такі основні причини відчуття пасажирами дискомфорту зі зростанням рівня заповнення: більша імовірність виконання поїздки стоячи протягом усього часу її здійснення; не

продуктивне (марне) витрачання часу; зменшення відстані між пасажирами (вторгнення в особистий простір).

Наслідком незадовільних умов здійснення поїздки є розвиток транспортної стомлюваності, що позначається на зниженні продуктивності праці пасажирів, які виконують трудові пересування [9, 10].

Для оцінки рівня заповнення пасажирських транспортних засобів використовуються такі показники [1 - 13]:

- кількість пасажирів, що припадає на 1 м^2 підлоги салону транспортного засобу призначеного для проїзду пасажирів стоячі (щільність заповнення) (α);

- питома площа підлоги транспортного засобу, що припадає на одного пасажирів, що здійснює поїздку стоячі (F_{num});

- коефіцієнти заповнення (використання пасажиромісткості), що визначається як відношення кількості пасажирів у салоні транспортного засобу до його номінальної місткості (γ);

- коефіцієнт заповнення, що визначається як відношення кількості пасажирів у салоні транспортного засобу до кількості місць для сидіння (LF).

В результаті порівняльного аналізу зазначених показників рівня заповнення у праці [11] встановлено, що за однакових умов заповнення за показником щільності пасажирів у салоні транспортного засобу, значення коефіцієнтів використання пасажиромісткості для транспортних засобів різної місткості можуть значно відрізнятись, що зумовлено різною питомою вагою кількості місць для сидіння у номінальній місткості транспортного засобу. Також зазначено, що зі зростанням пасажиромісткості транспортного

засобу спостерігається тенденція до зменшення питомої ваги кількості місць для проїзду пасажирів сидячі у номінальній пасажиромісткості транспортного засобу.

Рівень заповнення виокремлюють як вагомий фактор, що зумовлює вибір пасажирями шляху пересування [4 - 8]. З цього погляду науковий та практичний інтерес становить дослідження впливу рівня заповнення на процес формування пасажиропотоків. Особливо це питання набуває актуальності при моделюванні пасажиропотоків у насичених маршрутних системах, що відрізняються високим попитом на послуги громадського транспорту та обмеженим рівнем транспортної пропозиції.

При формалізації погіршення умов здійснення поїздки зі зростанням заповнення салону транспортного засобу вводять коефіцієнти штрафу [3, 4, 6 - 8]. Дискомфортні умови розповсюджуються й на пасажирів, що виконують поїздки сидячі. Проте такий вплив є менш відчутним у порівнянні з пасажирями, що здійснюють поїздки стоячі [7, 8].

Іншим аспектом питання, що розглядається, є обґрунтування обмежень на рівень заповнення міських пасажирських транспортних засобів та встановлення його раціонального рівня [9, 12]. При цьому застосовують метод математичної оптимізації та виходять з інтересів як перевізника, так і пасажирів. З одного боку, пасажирів зацікавлені у зменшенні ступеня заповнення з метою здійснення поїздки у більш комфортних умовах. З іншого, підприємства транспорту зацікавлені у протилежному, оскільки за меншого рівня заповнення салону транспортного засобу зростає собівартість перевезень та зменшується продуктивність транспортних засобів [10].

Використання різних вимірювачів рівня заповнення транспортних засобів ускладнює їх співставлення та проведення порівняльного аналізу, спричиняє труднощі при вирішенні, як наукових, так і прикладних завдань. Отже, метою статті є формалізація взаємозв'язку між показниками рівня заповнення міських пасажирських транспортних засобів.

Виклад основного матеріалу

Щільність заповнення (α) є величиною зворотною до питомої площі салону транспортного засобу, що припадає на одного пасажирів, який здійснює поїздки стоячі (F_{num}):

$$\alpha = \frac{1}{F_{num}}, F_{num} > 0. \quad (1)$$

Разом з цим, правомірною є і протилежна залежність:

$$F_{num} = \frac{1}{\alpha}, \alpha > 0. \quad (2)$$

Коефіцієнт заповнення, що визначається як відношення кількості пасажирів у салоні транспортного засобу до його номінальної пасажиромісткості (γ) за щільності заповнення (α) може бути визначений таким чином [13]:

$$\gamma = \mu(\alpha_n) + (1 - \mu(\alpha_n)) \frac{\alpha}{\alpha_n}, \alpha \geq 0, \quad (3)$$

де $\mu(\alpha_n)$ - питома вага кількості місць для сидіння у номінальній місткості транспортного засобу;

α_n - щільність заповнення за якої було визначено номінальну пасажиромісткість транспортного засобу, пас./м².

Виходячи із залежності (3) відповідність між α та γ може бути представлена:

$$\alpha = \begin{cases} 0, \text{ при } \gamma \leq \mu(\alpha_n); \\ \frac{\alpha_n \cdot (\gamma - \mu(\alpha_n))}{1 - \mu(\alpha_n)}, \text{ при } \gamma > \mu(\alpha_n). \end{cases} \quad (4)$$

Підставляючи (1) до (3) отримуємо залежність, що дає змогу визначити γ виходячи зі значення F_{num} :

$$\gamma = \mu(\alpha_n) + \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\alpha_n \cdot F_{num}}, F_{num} > 0. \quad (5)$$

У цьому випадку зворотна залежність має такий вигляд:

$$F_{num} = \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\alpha_n \cdot (\gamma - \mu(\alpha_n))}, \gamma > \mu(\alpha_n). \quad (6)$$

Оскільки коефіцієнт використання пасажиромісткості γ на певному перегоні маршруту визначається як відношення кількості пасажирів, що знаходяться у салоні транспортного засобу (N_c) до його номінальної місткості (q_n)

$$\gamma = \frac{N_c}{q_n}, \quad (7)$$

а коефіцієнт заповнення LF , як відношення до кількості місць для проїзду пасажирів сидячі (q_c):

$$LF = \frac{N_c}{q_c} \cdot 100\% , \quad (8)$$

то кількість пасажирів, що знаходяться у салоні транспортного засобу може бути представлено

$$N_c = \frac{q_c \cdot LF}{100\%} . \quad (9)$$

Підставляючи (9) у (7) отримуємо

$$\gamma = \frac{q_c}{q_n} \times \frac{LF}{100\%} = \mu(\alpha_n) \cdot \frac{LF}{100\%} . \quad (10)$$

Зворотна залежність має вигляд:

$$LF = \frac{\gamma}{\mu(\alpha_n)} \cdot 100\% . \quad (11)$$

Після підставлення (3) в (11) отримуємо

$$LF = \left(1 + \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\mu(\alpha_n)} \times \frac{\alpha}{\alpha_n} \right) \cdot 100\% . \quad (12)$$

Шляхом перетворень отримуємо зворотну залежність, що має такий вигляд:

$$\alpha = \begin{cases} 0, \text{ при } LF \leq 100\%; \\ \frac{\alpha_n \cdot \mu(\alpha_n)}{1 - \mu(\alpha_n)} \left(\frac{LF}{100\%} - 1 \right), \text{ при } LF > 100\%. \end{cases} \quad (13)$$

Підставляючи (1) у (12) отримуємо

$$LF = \left(1 + \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\mu(\alpha_n) \cdot \alpha_n \cdot F_{num}} \right) \cdot 100\%, \quad F_{num} > 0, \quad (14)$$

та після перетворень зворотну залежність

$$F_{num} = \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\mu(\alpha_n) \cdot \alpha_n \cdot \left(\frac{LF}{100\%} - 1 \right)}, \quad LF > 100\% . \quad (15)$$

На підставі отриманих залежностей формуємо табл. 1. Її використання дає змогу виходячи з наявного показника рівня заповнення проводити розрахунок відповідних значень інших показників.

Графічно взаємозв'язок між показниками рівня заповнення міських пасажирських транспортних засобів представлено на рис. 1.

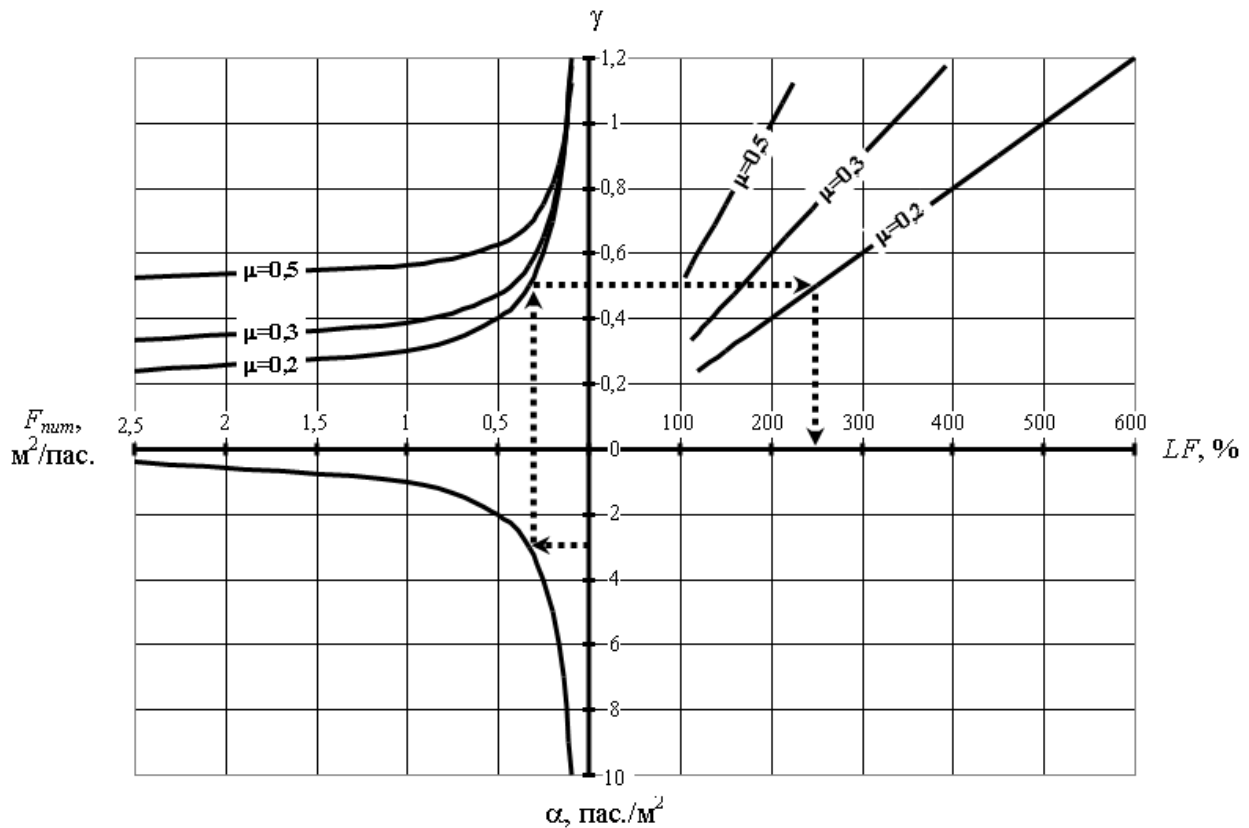


Рис. 1. Взаємозв'язок між показниками рівня заповнення міських пасажирських транспортних засобів (при $\alpha_n = 8 \text{ пас./м}^2$)

Таблиця 1

Розрахункові залежності взаємозв'язку між показниками рівня заповнення салону транспортного засобу

Розрахунковий показник	Вихідний показник заповнення			
	α , пас./м ²	F_{num} , м ² /пас.	γ	LF , %
α , пас./м ²	-	$\alpha = \frac{1}{F_{num}},$ $F_{num} > 0$	$\alpha = \frac{\alpha_n \cdot (\gamma - \mu(\alpha_n))}{1 - \mu(\alpha_n)},$ $\gamma > \mu(\alpha_n)$	$\alpha = \frac{\alpha_n \cdot \mu(\alpha_n)}{1 - \mu(\alpha_n)} \left(\frac{LF}{100\%} - 1 \right),$ $LF \geq 100\%$
F_{num} , м ² /пас.	$F_{num} = \frac{1}{\alpha},$ $\alpha > 0$	-	$F_{num} = \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\alpha_n \cdot (\gamma - \mu(\alpha_n))},$ $\gamma > \mu(\alpha_n)$	$F_{num} = \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\mu(\alpha_n) \cdot \alpha_n \cdot \left(\frac{LF}{100\%} - 1 \right)},$ $LF > 100\%$
γ	$\gamma = \mu(\alpha_n) + (1 - \mu(\alpha_n)) \frac{\alpha}{\alpha_n}$	$\gamma = \mu(\alpha_n) + \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\alpha_n \cdot F_{num}},$ $F_{num} > 0$	-	$\gamma = \mu(\alpha_n) \cdot \frac{LF}{100\%}$
LF , %	$LF = \left(1 + \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\mu(\alpha_n)} \times \frac{\alpha}{\alpha_n} \right) \cdot 100\%$	$LF = \left(1 + \frac{1 - \mu(\alpha_n)}{\mu(\alpha_n) \cdot \alpha_n \cdot F_{num}} \right) \cdot 100\%,$ $F_{num} > 0$	$LF = \frac{\gamma}{\mu(\alpha_n)} \cdot 100\%$	-

Як бачимо, між показниками щільності заповнення (α) та питомої площі підлоги салону транспортного засобу, що припадає на одного пасажера, який здійснює поїздку стоячи (F_{num}) існує однозначна відповідність. Взаємозв'язок між цими показниками не залежить від планувальних характеристик салону транспортного засобу та його пасажиромісткості. У цей же час, при визначенні показників γ та LF важливого значення має питома вага кількості місць призначених для проїзду пасажирів сидячі у номінальній пасажиромісткості ($\mu(\alpha_n)$) та щільність заповнення за якої було визначено номінальну місткість транспортного засобу (α_n).

Висновки

У роботі представлено розрахункові залежності взаємозв'язку між показниками рівня заповнення салону транспортного засобу.

Встановлено, що взаємозв'язок між показниками рівня заповнення салону пасажирських транспортних засобів цілком визначається такими параметрами як питома вага кількості місць для проїзду пасажирів сидячі у номінальній пасажиромісткості транспортних засобів ($\mu(\alpha_n)$) та нормативною щільністю заповнення за якої визначено його номінальну місткість (α_n).

Напрямок подальших досліджень є застосування запропонованих залежностей при вирішенні завдань нормування рівня заповнення міських пасажирських транспортних засобів та проведення оцінки впливу ступеня заповнення на рішення, що приймають пасажери при виборі шляху пересування.

Література

1. Haywood, L., Koning, M., Monchambert, G. (2017). Crowding in public transport: Who cares and why?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100, 215-227.
2. Li, Z., Hensher, D. A. (2013). Crowding in public transport: a review of objective and subjective measures. *Journal of Public Transportation*, 16 (2), 107 – 134.
3. Qin, F. (2014). Investigating the in-vehicle crowding cost functions for public transit modes. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1-13.
4. Shen, X., Feng, S., Li, Z., Hu, B. (2016). Analysis of bus passenger comfort perception based on passenger load factor and in-vehicle time. *SpringerPlus*, 5 (1), 1-10.
5. Vovsha, P., Marcelo, G. S. O., William, D. (2014). Statistical analysis of transit user preferences including in-vehicle crowding and service reliability. In TRB 2014 annual meeting, 1 – 20.
6. Cats, O., Hartl, M. (2016). Modelling public transport on-board congestion: comparing schedule-based and agent-based assignment approaches and their

implications. *Journal of Advanced Transportation*, 50(6), 1209-1224.

7. Tirachini, A., Hensher, D. A., Rose, J. M. (2013). Crowding in public transport systems: effects on users, operation and implications for the estimation of demand. *Transportation research part A: policy and practice*, 53, 36-52.
8. Tirachini, A., Hurtubia, R., Dekker, T., Daziano, R. A. (2017). Estimation of crowding discomfort in public transport: results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 311-326.
9. Гюлев, Н. У. *Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Н. У. Гюлев. – Харьков, 1993. – 174 с.*
10. Доля, В. К. *Пасажирські перевезення [Текст] : підручник / В. К. Доля. – Х.: Форт, 2010. – 504 с.*
11. Понкратов, Д. П. *Порівняльний аналіз показників рівня заповнення міських пасажирських транспортних засобів [Текст] / Д. П. Понкратов, Н. В. Давідіч, Є. І. Куш, Д. М. Рославцев, В. Г. Мозглякова // Комунальне господарство міст. – 2019. – Т. 6, № 152. – С. 196-203.*
12. Понкратов, Д. П. *Диференційовані рекомендації щодо нормування рівня заповнення салону автобусів при здійсненні міських пасажирських перевезень [Текст] / Д. П. Понкратов, Н. В. Давідіч // Комунальне господарство міст. – 2019. – № 1 (147) – С. 46-53.*
13. Понкратов, Д. П. *Система обмежень на параметри перевезень пасажирів громадським транспортом [Текст] / Д. П. Понкратов, К. В. Доля // Вісник національного університету «Львівська політехніка»: збірник наукових праць. Серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – 2017. – № 866. – Львів: Видавництво Львівської політехніки. – С. 216-220.*

References

1. Haywood, L., Koning, M., Monchambert, G. (2017). Crowding in public transport: Who cares and why?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100, 215-227.
2. Li, Z., Hensher, D. A. (2013). Crowding in public transport: a review of objective and subjective measures. *Journal of Public Transportation*, 16 (2), 107 – 134.
3. Qin, F. (2014). Investigating the in-vehicle crowding cost functions for public transit modes. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1-13.
4. Shen, X., Feng, S., Li, Z., Hu, B. (2016). Analysis of bus passenger comfort perception based on passenger load factor and in-vehicle time. *SpringerPlus*, 5 (1), 1-10.
5. Vovsha, P., Marcelo, G. S. O., William, D. (2014). Statistical analysis of transit user preferences including in-vehicle crowding and service reliability. In TRB 2014 annual meeting, 1 – 20.
6. Cats, O., Hartl, M. (2016). Modelling public transport on-board congestion: comparing schedule-based and agent-based assignment approaches and their implications. *Journal of Advanced Transportation*, 50(6), 1209-1224.
7. Tirachini, A., Hensher, D. A., Rose, J. M. (2013). Crowding in public transport systems: effects on users, operation and implications for the estimation of demand. *Transportation research part A: policy and practice*, 53, 36-52.

8. Tirachini, A., Hurtubia, R., Dekker, T., Daziano, R. A. (2017). Estimation of crowding discomfort in public transport: results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 311-326.
9. Gulev, N. U. (1993) The choice of a rational number of buses on the urban routes, taking into account the influence of the human factor: dis. ... cand. tech. sciences, 174.
10. Dolya, V. K. (2010) Passenger transportation, 504.
11. Ponkratov, D. P. et al. (2019) Comparative analysis of carrying crowding rate indicators for urban passenger vehicles. *Municipal economy of cities*, 6 (152), 196-203.
12. Ponkratov, D., Davidich, N. (2019) Differentiated guidance for in-vehicle crowding limitation in urban bus services. *Municipal economy of cities*, 1 (147), 46-53.

13. Ponkratov, D. P., Dolya, K. V. (2017) The system of restrictions on the parameters of passenger transportation by public transport. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic": a collection of scientific works*, 866, 216-220.

Рецензент: д-р техн. наук, доц. Н.У. Гюлев, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна

Автор: ПОНКРАТОВ Денис Павлович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – dpponkratov@gmail.com

FORMALIZATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PUBLIC TRANSIT CROWDING INDICATORS

D. Ponkratov

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Urban public transport ensures a high level of service for its users. Despite the challenges of comprehensiveness of the measurement of the level of transport service, the one of the most important unit assessment is in-vehicle crowding level. Excessive crowding level of the vehicle compartment causes passengers feeling uncomfortable during trip. Consequently, the crowding level is a factor, should be rationing.

Assessment of in-vehicle crowding level observing using different indicators which have variation in units of measurement, descriptive properties, circumstances of apply, etc. Simultaneously, it makes it harder to assess and compare conditions of public transit according to occupancy rate, via dissimilar measures of its value, as well during the observation, as well as the address the challenges of urban public transport organization. In view of the above-mentioned, formalization of the relationship between the crowding indicators in urban public transport is a pressing task that needs to be addressed. The research presents the relationship between these in-vehicle crowding level: the passengers density per sq. m of the vehicle's floor intended for standing passengers (passenger density) The floor area of the vehicle intended for single standing passengers; load factor which is defined as the ratio of the number of passengers in the cabin of the vehicle to its capacity; load factor is defined as the ratio of the number of passengers in the cabin of the vehicle to the number of seats.

The relationship between considering indicators of occupancy rates of vehicles have been established. Its value is entirely determined via dependencies of the ratio of seats in the passenger capacity of vehicles and the passenger density at which its was found.

Further research is focused on the application of the proposed dependencies in solving the problems of rationing the public transit crowding level and assessing the influence of the occupancy rate on the passenger's route choice decisions.

Keywords: public transit, passenger transportation, vehicle capacity, in-vehicle crowding level, load factor.