

Д.П. Понкратов, Н.В. Давідіч

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ДИФЕРЕНЦІЙОВАНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НОРМУВАННЯ РІВНЯ ЗАПОВНЕННЯ САЛОНУ АВТОБУСІВ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

У статті запропоновано диференційовані рекомендації щодо нормування рівня заповнення салону транспортних засобів при здійсненні міських пасажирських перевезень. Диференціацію проведено за коефіцієнтом нерівномірності пасажиропотоку по довжині маршруту у найбільш завантаженому напрямку.

Ключові слова: міський пасажирський транспорт, пасажирські перевезення, рівень заповнення салону транспортного засобу, коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку.

Постановка проблеми

Рівень заповнення транспортних засобів на міських маршрутах є одним з основних показників, що визначає якість транспортного обслуговування. Надмірне заповнення (переповнення автобусів) спричиняє дискомфортні умови здійснення поїздки та є причиною розвитку транспортної стомлюваності пасажирів. Зважаючи на це, рівень заповнення є нормованою величиною. Поряд з тим, що негативний вплив надмірного заповнення на якість транспортного обслуговування є цілком зрозумілим та не викликає сумнівів, наукові підходи та методи визначення раціональних рівнів заповнення автобусів на міських маршрутах є недостатньо обґрунтованими та потребують подальших досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Оцінку рівня заповнення автобусів виконують за декількома показниками. Перш за все, це коефіцієнт використання пасажиромісткості. Виділяють такі його різновиди [1-3]: статичний та динамічний. Обидва ці показники знайшли широке використання у проектних розрахунках з планування та організації перевезень, наприклад, при визначенні потрібної кількості транспортних засобів для роботи на міських маршрутах.

Іншим показником, що застосовують при проведенні оцінки рівня заповнення є кількість пасажирів, що припадає на 1 м² підлоги салону транспортного засобу, яка призначена для проїзду пасажирів стоячи (щільність заповнення) [1-14]. Цей показник є нормованим, проте, у різних країнах світу використовують різні норми заповнення. За даними праці [8] граничною відміткою, яка визначає неприйнятний рівень заповнення має різне значення

для різних країн та регіонів. Так, у країнах Європейського союзу та в Австралії прийнята норма 4 пас./ м²; США – 5 пас./ м²; Китай (автобусні перевезення) – 8 пас./ м².

Певним значенням цього показника відповідають якісні характеристики умов здійснення пасажиром поїздки. За даними праці [1], фізичною межею вважається рівень заповнення, що складає близько 12 пас./м². Починаючи із заповнення транспортного засобу, що дорівнює 8 пас./м² (гранично допустимий експлуатаційний норматив), спостерігається блокування можливості переміщення пасажирів по салону. Комфортний проїзд пасажирів забезпечується при рівні заповнення 3 пас./м² та менше.

Найбільше розповсюдження у науковій та навчальній літературі [1, 2] отримала норма рівня заповнення 5 пас./м². У Стандарті Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України СОУ 60.2-3363588-0002:2006 «Послуги міського електричного транспорту. Показники якості» як один з рекомендованих показників якості послуг виділяють наповненість салону транспортного засобу, що не має перевищувати 4 пас./м². Але, як показує досвід користування громадським транспортом, такі норми заповнення зазвичай не дотримуються, особливо у періоди напруженого пасажиропотоку.

Згідно з ДБН 360-92** «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» при вирішенні завдання проектування системи пасажирського транспорту, провізну здатність різних видів транспорту, параметри обладнань і споруд пропонується визначати виходячи з норми наповнення рухомого складу на розрахунковий термін – 4 пас./м² вільної площі підлоги пасажирського салону для звичайних видів

наземного транспорту і 3 пас./м² – для швидкісного транспорту.

З позиції організації перевезень, рівень заповнення є керованим параметром, що визначається відповідністю пасажиромісткості транспортних засобів та їх кількості до величини пасажиропотоку на маршруті [1, 3, 5]. Згідно до наказу Міністерства Інфраструктури України «Про затвердження Порядку організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом» від 15.07.2013 № 480 (редакція від 04.10.1016) для підвищення ефективності роботи автобусів на автобусному маршруті загального користування відповідний організатор пасажирських перевезень повинен здійснити такі коригувальні дії залежно від наповнюваності місткості автобусів:

1) більше ніж 100 % – збільшити або зменшити кількість рухомого складу шляхом заміни його типу або марок на рухомий склад більшої пасажиромісткості;

2) від 100 % до 80 % – збільшити кількість рухомого складу;

3) менше ніж 80 % – внесення змін до роботи діючого автобусного маршруту недоцільне;

4) 50 % – зменшити кількість рухомого складу;

5) менше ніж 50 % – розглянути питання щодо доцільності закриття автобусного маршруту загального користування, якщо він дублюється іншими автобусними маршрутами, або у разі неможливості його закриття – щодо збитковості такого маршруту та заходів для покриття витрат на його обслуговування.

Корегування кількості та місткості транспортних засобів позначається й на інтервалах руху, та, як наслідок, на часі очікування пасажирів на зупинках [1-5]. Проте, надання більш комфортних послуг для пасажирів тягне за собою зростання експлуатаційних витрат.

Також існують рекомендації згідно яких пропонується виходити з різного рівня заповнення при організації перевезень на маршруті у період пік (5 пас./м²) та міжпіковий період (3 пас./м²) [2]. Однак, слід зазначити, що така пропозиція продиктована, перш за все, намаганням дотримання прийнятних інтервалів руху у періоди спаду пасажиропотоку.

Також, у праці [9] зазначені вимоги щодо рівня заповнення салону транспортного засобу, за якими у години «пік» на найбільш завантаженому перегоні маршруту ступінь заповнення не має перевищувати 125 – 150 % від кількості місць для проїзду пасажирів сидячи та 100 % у міжпікові періоди. Більше заповнення (150 – 175 %) допускається за малої відстані поїздки пасажирів.

Проведений аналіз засвідчив, що існуючі методи та рекомендації щодо нормування рівня

заповнення салону транспортного засобу не достатньо повно враховують відмінності маршрутів міського пасажирського транспорту, зокрема за низкою експлуатаційних показників та параметрами пасажиропотоку. Натомість, як з наукової, так і практичної точок зору, більш доцільним є застосування диференційованого підходу, що дасть змогу індивідуально підійти до вирішення завдання вибору параметрів організації перевізного процесу на кожному маршруті окремо виходячи з наявних особливостей його функціонування. Враховуючи вищезазначене, **метою статті** є розробка науково обґрунтованих диференційованих рекомендацій щодо нормування рівня заповнення салону транспортних засобів при здійсненні міських пасажирських перевезень.

Виклад основного матеріалу

При проведенні дослідження виходили із припущення, що рівень заповнення салону транспортного засобу слід нормувати виходячи із характеристик нерівномірності пасажиропотоку. При вирішенні завдань організації перевезень використовують два підходи стосовно визначення параметрів пасажиропотоку. Згідно з першим, величину пасажиропотоку розглядають як сталу величину, тобто, таку, що не залежать від параметрів перевізного процесу. Другий підхід, передбачає моделювання процесу формування пасажиропотоків шляхом проведення мережного розрахунку, наприклад, за методикою [15]. У цьому випадку пасажиропотік розглядають як змінну величину, що зумовлена параметрами перевізного процесу на маршруті. Розгляд змінного попиту на перевезення дає змогу враховувати той факт, що покращення умов здійснення поїздки, зокрема зменшення ступеня заповнення салону транспортного засобу, може призвести до зростання обсягів перевезень та, відповідно, потужності пасажиропотоку.

Важливою умовою розгляду змінного попиту на перевезення є моделювання поведінки пасажирів щодо вибору шляху пересування. При ухваленні рішення пасажирами порівнюють можливі варіанти здійснення пересування на підставі власного досвіду, особистісних характеристик тощо. Проведені дослідження показали, що частка кореспонденції (ΔP), що реалізується певним альтернативним шляхом між пунктами відправлення та призначення може бути формалізована з урахуванням таких показників транспортного процесу:

$$\Delta P = a_1 \cdot (a_2 / \sqrt{T_{пyx}}) + a_3 \cdot (1 / \sqrt{(S / D)}) + a_4 \cdot (1 / (\log(a_5 \cdot \gamma_{сер}))) + a_6 \cdot (1 / \sqrt{T_{оч}}) + a_7 \cdot (1 / \sqrt{T_{вiдx} + T_{нiдx}}) + a_8 \cdot (1 / \exp(T_{перес})), \quad (1)$$

де $T_{пyx}$ – час руху у транспортному засобі;

S / D – відношення вартості пересування до доходу пасажирів;

$\gamma_{сер}$ – середній коефіцієнт заповнення салону транспортних засобів на шляху пересування;

$T_{оч}$ – час очікування на зупинному пункті;

$T_{вiдx}$, $T_{нiдx}$ – відповідно час підходу та відходу від зупинного пункту;

$T_{перес}$ – час здійснення пересадження;

$a_1 - a_8$ – калібровані коефіцієнти, значення яких залежать від типу нервової системи пасажирів та його віку.

У рамках цього дослідження обмежилися умовами сталих параметрів пасажиропотоку. При цьому керувалися гіпотезою, що диференціацію маршрутів стосовно вирішення завдання нормування рівня заповнення салону транспортних засобів, слід проводити виходячи з характеристик пасажиропотоку, а саме: величини пасажиропотоку

на найбільш завантаженому перегоні маршруту (F_{max}) та коефіцієнту нерівномірності пасажиропотоку за довжиною маршруту у найбільш завантаженому напрямку ($K_{доаж}$).

Перевірку гіпотези виконували шляхом проведення експерименту на оптимізаційній моделі [16], що передбачає мінімізацію сукупних витрат перевізника та пасажирів. В якості варійованих факторів використовували пасажиромісткість (q_n) та рівень заповнення салону транспортного засобу (α). При формуванні вхідних даних виходили з усереднених параметрів роботи автобусних маршрутів у м. Харкові [17].

При проведенні модельного експерименту коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку за довжиною маршруту змінювали у межах від 1,0 до 2,3 з кроком 0,1, а величину пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту - від 200 до 2800 пас./год з кроком 260 пас./год. Інші параметри оптимізаційної моделі залишали незмінними. Результати модельного розрахунку представлено у табл. 1 та приклад вирішення оптимізаційного завдання зображено на рис. 1.

Таблиця 1

Результати модельного експерименту

Пасажиро-потік (F_{max}), пас./год	Варійовані фактори	Коефіцієнт нерівномірності по довжині маршруту													
		1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
200	$q_{n(opt)}$	37	36	35	35	35	34	34	33	33	33	34	40	39	40
	α_{opt}	1,50	2,00	2,75	3,50	4,25	5,00	5,75	6,75	7,50	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
460	$q_{n(opt)}$	53	55	54	54	51	54	52	50	50	49	51	60	59	60
	α_{opt}	2,50	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25	6,00	6,75	7,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
720	$q_{n(opt)}$	71	69	68	67	66	63	64	65	65	65	64	76	74	76
	α_{opt}	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,00	8,00	8,00
980	$q_{n(opt)}$	75	79	77	76	75	74	73	73	72	72	76	88	86	88
	α_{opt}	3,00	3,75	4,25	4,75	5,25	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,00	8,00	8,00	8,00
1240	$q_{n(opt)}$	92	90	88	86	85	84	83	82	81	80	86	99	97	99
	α_{opt}	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,00	8,00	8,00	8,00

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1500	$q_{H(opt)}$	95	99	88	95	94	86	85	84	88	83	95	109	107	109
	$\alpha_{(opt)}$	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,00	8,00	8,00	8,00
1760	$q_{H(opt)}$	109	108	111	108	101	97	95	93	91	90	104	118	116	118
	$\alpha_{(opt)}$	3,50	3,75	4,25	4,75	5,25	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,00	8,00	8,00	8,00
2020	$q_{H(opt)}$	118	112	109	121	115	108	104	101	98	96	112	127	124	127
	$\alpha_{(opt)}$	3,50	4,00	4,50	4,75	5,25	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,00	8,00	8,00	8,00
2280	$q_{H(opt)}$	136	124	116	113	129	119	113	108	105	103	120	135	132	135
	$\alpha_{(opt)}$	3,50	4,00	4,50	5,00	5,25	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,00	8,00	8,00	8,00
2540	$q_{H(opt)}$	154	140	128	119	116	130	122	116	112	109	127	142	139	142
	$\alpha_{(opt)}$	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,00	8,00	8,00	8,00
2800	$q_{H(opt)}$	173	156	143	132	123	141	130	123	118	114	135	149	146	149
	$\alpha_{(opt)}$	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,00	8,00	8,00	8,00

Результати розрахунку показали, що, чим більшою є величина коефіцієнту нерівномірності пасажиропотоку за довжиною маршруту, тим з вищого рівня заповнення слід виходити при плануванні параметрів перевезень. Натомість, зростання величини пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту призводить до необхідності застосування автобусів більшої пасажиромісткості.

Обробку результатів модельного експерименту проводили із застосуванням методу регресійного аналізу. Попередній аналіз дослідних даних показав, що у переважній більшості випадків, зі зростанням коефіцієнту нерівномірності від 1,0 до 2,0 раціональний рівень заповнення зростає, потім він залишається незмінним та складає 8 пас./м². Це є підставою для того, щоб розглядати ці два діапазони окремо.

Апроксимацію першого діапазону значень виконували з використанням лінійної функції. В результаті було отримано рівняння наступного вигляду:

$$\alpha_{(opt)} = -2,244 + 5,209 \cdot K_{до\text{вж}}, \quad (2)$$

де α_{opt} - оптимальний рівень заповнення салону транспортного засобу на найбільш завантаженому перегоні маршруту, пас./м².

$K_{до\text{вж}}$ - коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку за довжиною маршруту у найбільш завантаженому напрямку.

Оцінка регресійної моделі (2) за статистичними критеріями показала, що вона є достатньо адекватною.

Враховуючи вимоги щодо точності параметру α_{opt} , раціональних рівнів коефіцієнти регресії можуть бути округлені до цілих значень. В результаті чого остаточно отримуємо:

$$\alpha_{(opt)} = \begin{cases} -2 + 5 \cdot K_{до\text{вж}}, & \text{при } K_{до\text{вж}} \in [1; 2) \\ 8 \text{ пас./м}^2, & \text{при } K_{до\text{вж}} \in [2; 2,3] \end{cases} \quad (3)$$

При визначенні рівня заповнення автобусів увесь діапазон зміни коефіцієнту нерівномірності пасажиропотоку було поділено на 6 груп, що мають таку якісну та кількісну характеристики нерівномірності: дуже низька ($K_{до\text{вж}} \in [1,0; 1,2]$), низька ($K_{до\text{вж}} \in (1,2; 1,4]$), середня ($K_{до\text{вж}} \in (1,4; 1,6]$), висока ($K_{до\text{вж}} \in (1,6; 1,8]$), дуже висока ($K_{до\text{вж}} \in (1,8; 2,0]$), виключно висока ($K_{до\text{вж}} \in (2,0; 2,3]$). Для кожного виділеного діапазону коефіцієнту нерівномірності пасажиропотоку з використанням залежності (3) визначали відповідний інтервал значень рівня заповнення салону транспортного засобу.

На підставі отриманих результатів було сформовано табл. 2. Графічну інтерпретацію отриманих результатів зображено на рис. 2.

Таким чином, запропоновані рекомендації дають змогу диференційовано підійти до нормування ступеня заповнення виходячи із характеристик просторової нерівномірності пасажиропотоку.

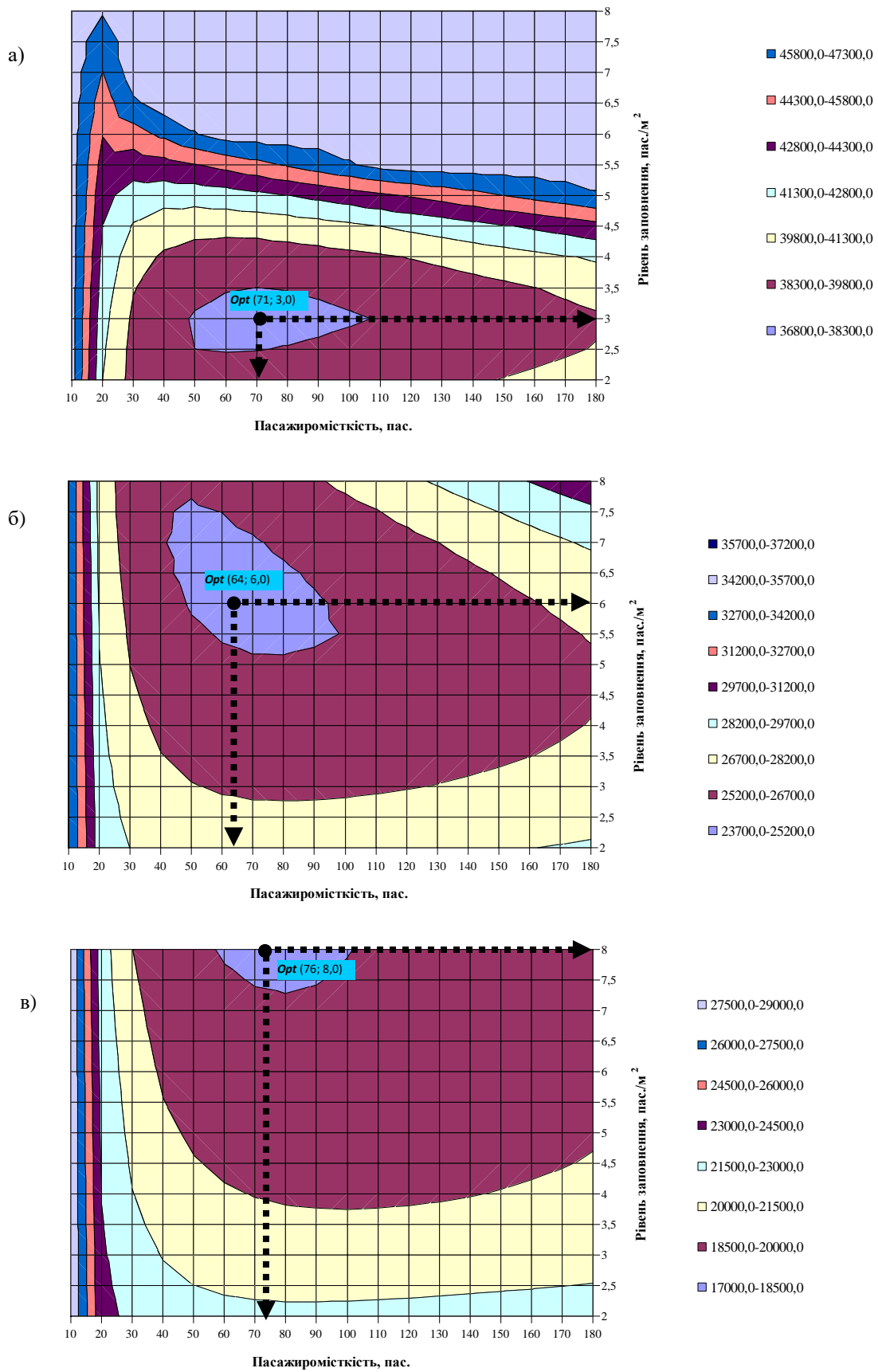


Рис. 1. Контурні діаграми зміни сукупних витрат за $F_{\text{max}} = 720$ пас./год та наступних значень коефіцієнту нерівномірності пасажиропотоку за довжиною маршруту:

а) $K_{до\text{вж}} = 1,0$; б) $K_{до\text{вж}} = 1,6$; в) $K_{до\text{вж}} = 2,3$.

Рациональні рівні заповнення салону автобусів на міських маршрутах

Номер групи	Якісна характеристика нерівномірності пасажиропотоку	Коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку за довжиною маршруту	Рекомендований рівень заповнення
I	Дуже низька	1,0 - 1,2	3 - 4 пас./м ²
II	Низька	1,2 - 1,4	4 - 5 пас./м ²
III	Середня	1,4 - 1,6	5 - 6 пас./м ²
IV	Висока	1,6 - 1,8	6 - 7 пас./м ²
V	Дуже висока	1,8 - 2,0	7 - 8 пас./м ²
VI	Виключно висока	більше 2,0	8 пас./м ²



Рис. 2. Графік раціональних рівнів заповнення автобусів на міських маршрутах

Висновки

На підставі проведених досліджень виділено такі раціональні рівні заповнення автобусів на міських маршрутах: за величини коефіцієнту нерівномірності пасажиропотоку за довжиною маршруту від 1,0 до 1,2 (дуже низька нерівномірність) слід планувати перевізний процес з рівнем заповнення на найбільш завантаженому перегоні маршруту 3 - 4 пас./м²; від 1,2 до 1,4 (низька нерівномірність) – рівень заповнення 4 - 5 пас./м²; від 1,4 до 1,6 (середня нерівномірність) –

рівень заповнення 5 - 6 пас./м²; від 1,6 до 1,8 (висока нерівномірність) – рівень заповнення 6 - 7 пас./м²; від 1,8 до 2,0 (дуже висока нерівномірність) – рівень заповнення 7 - 8 пас./м²; більше 2,0 (виключно висока нерівномірність) – рівень заповнення 8 пас./м².

Запропоновані рекомендації можуть бути застосовані під час проектування технології перевезень на маршрутах міського пасажирського транспорту.

Напрямок подальших досліджень є розвиток запропонованого підходу у розрізі залучення

додаткових факторів та його адаптація до нормування рівня заповнення салону транспортних засобів різних видів міського маршрутного пасажирського транспорту.

Література

1. Спирин, И. В. *Перевозка пассажиров городским транспортом: справочное пособие [Текст] / И. В. Спирин.* – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 413 с.
2. Доля, В. К. *Пасажирські перевезення: підручник [Текст] / В. К. Доля.* – Х.: Форт, 2010. – 504 с.
3. Босняк, М. Г. *Пасажирські автомобільні перевезення. Навчальний посібник [Текст] / М. Г. Босняк.* – К.: Слово, 2009. – 272 с.
4. Кузькін, О. Ф. *Нормативно-правові аспекти оцінки якості послуг міського маршрутного пасажирського транспорту загального користування [Текст] / О. Ф. Кузькін // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* – 2010. – № 2 (53). – С. 79-85.
5. Гюлев, Н. У. *Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.01 [Текст] / Низами Уруджевич Гюлев.* – Х., 1993. – 174 с.
6. Tirachini, A. et al. (2017) Estimation of crowding discomfort in public transport: Results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 311-326.
7. Litman, T. (2008) Valuing transit service quality improvements. *Journal of Public transportation*, 11(2), 43-63.
8. 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.
9. Ceder, A. (2007) *Public transit planning and operation: theory, modeling and practice.* Oxford: Elsevier, 626.
10. Batarce, M., Muñoz, J. C., Ortúzar, J. D., Raveau, S. (2015) Valuing crowding in public transport systems using mixed stated/revealed preferences data: the case of Santiago. *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers, Washington DC*, 1 – 13.
11. Batarce, M., Muñoz, J. C., Ortúzar, J. D. (2016) Valuing crowding in public transport: Implications for cost-benefit analysis / M. Batarce, J. C. Muñoz, J. de Dios Ortúzar // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91, 358-378.
12. Haywood, L., Koning, M., Monchambert, G. Crowding in public transport: Who cares and why? (2017) *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100, 215-227.
13. Hörcher, D., Graham, J., Anderson, R. J. (2017) Crowding cost estimation with large scale smart card and vehicle location data. *Transportation Research Part B: Methodological*, 95, 105-125.
14. 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.
15. Горбачев, П. Ф. *Моделирование спроса на услуги пассажирского маршрутного транспорта в крупных городах: монография [Текст] / П. Ф. Горбачев, А. В. Россолов.* – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 152 с

16. Доля, В. К. *Цільова функція вибору пасажиромісткості транспортних засобів на міських маршрутах [Текст] / В. К. Доля, Д. П. Понкратов // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* – 2016. – №. 161 – С. 44-52.

17. Понкратов, Д. П. *Раціональні сфери використання автобусів різного класу пасажиромісткості [Текст] / Д. П. Понкратов, Н. В. Давідич // Автомобільний транспорт.* – 2018. – Вып. 43. – С. 71-77.

References

1. Spirin, I. V. (2004) Passenger transportation by public transit: a reference manual, 413.
2. Dolya, V. K. (2010) Passenger transportation, 504.
3. Bosnyak, M. G. (2009) Passenger automobile transportation, 272.
4. Kuzkin, O.F. (2010) Legislative aspects of an estimation of quality of services of the urban public transport. *The Journal of Zhytomyr State Technological University*, 2 (53), 79-85.
5. 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.
6. Tirachini, A. et al. (2017) Estimation of crowding discomfort in public transport: Results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 311-326.
7. Litman, T. (2008) Valuing transit service quality improvements. *Journal of Public transportation*, 11(2), 43-63.
8. 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.
9. Ceder, A. (2007) *Public transit planning and operation: theory, modeling and practice.* Oxford: Elsevier, 626.
10. Batarce, M., Muñoz, J. C., Ortúzar, J. D., Raveau, S. (2015) Valuing crowding in public transport systems using mixed stated/revealed preferences data: the case of Santiago. *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers, Washington DC*, 1 – 13.
11. Batarce, M., Muñoz, J. C., Ortúzar, J. D. (2016) Valuing crowding in public transport: Implications for cost-benefit analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91, 358-378.
12. Haywood, L., Koning, M., Monchambert, G. Crowding in public transport: Who cares and why? (2017) *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100, 215-227.
13. Hörcher, D., Graham, J., Anderson, R. J. (2017) Crowding cost estimation with large scale smart card and vehicle location data. *Transportation Research Part B: Methodological*, 95, 105-125.
14. 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.
15. Gorbachev, P. F., Rossolov, A. V. (2012) Modeling demand for passenger route transport services in large cities: monograph, 152.
16. Dolya, V. K., Ponkratov, D. P. (2016) Objective function of vehicle's capacity choice for public transit routs. *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 161, 44-52.

17. Ponkratov, D. P., Davidich, N. V. (2018) Rational areas of using different bus classes of capacity. *Automobile transport*, 43, 71-77.

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

Автор: ДАВІДІЧ Наталія Василівна
кандидат технічних наук
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – pmkaf@kname.edu.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7799-2122>

DIFFERENTIATED GUIDANCE FOR IN-VEHICLE CROWDING LIMITATION IN URBAN BUS SERVICES

D. Ponkratov, N. Davidich

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

The level of in-vehicle crowding is one of the main indicators of transit services quality estimation. Excessive crowding causes uncomfortable trip conditions and effect on passengers transport fatigue increasing. In this regard, the in-vehicle crowding level is a normalized value. Along with the fact that the negative impact of excessive in-vehicle crowding on the transit services quality is quite understandable and unmistakable, scientific approaches and methods for determining the rational levels of vehicle occupancy are not justified and require further research.

The analysis showed that the existing methods and guidance for in-vehicle crowding limitation do not sufficiently take into consideration the differences in the transit routes, in particular, operational and passenger flow parameters. Instead, both from a scientific and practical point of view, it is more appropriate to use a differentiated approach that will enable individuals to approach the task of choosing the service parameters on each route separately, based on the existing features of its operating.

It was supposed that the differentiation of routes in relation in-vehicle crowding limitation problem solution should be based on the passenger flow characteristics, specifically by using of coefficient of unevenness of the passenger flow along the route in the most loaded direction. The hypothesis test was conducted by an experiment on an optimization model, which suppose to minimize total operator and passengers costs.

Based on the conducted research, the following rational levels of the bus occupancy are allocated: for the magnitude of the coefficient of unevenness of the passenger flow along the route from 1,0 to 1,2 (very low unevenness), it is necessary to plan the service process with the passenger density on the maximum load section of the route 3 - 4 pass/m²; from 1,2 to 1,4 (low unevenness) - passenger density 4 - 5 pass/m²; from 1,4 to 1,6 (average unevenness) - passenger density 5 - 6 pass/m²; from 1,6 to 1,8 (high unevenness) - passenger density 6 - 7 pass/m²; from 1,8 to 2,0 (very high unevenness) - passenger density 7 - 8 pass/m²; more than 2,0 (exceptionally high unevenness) - passenger density 8 pass/m².

The direction of further research is the development of the proposed approach in terms of adding additional factors and its adaptation for in-vehicle crowding limitation problem solution for other urban transit modes.

Keywords: public transit, passenger transportation, in-vehicle crowding level, coefficient of unevenness of the passenger flow along the route.