

ТРАНСПОРТ

УДК 656.02

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/29>

Жук М.М.

Національний університет «Львівська політехніка»

Півторак Г.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

ОЦІНКА ПРИТЯГУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВУЗЛІВ ЗОВНІШНЬОГО ТРАНСПОРТУ ЛЬВОВА

Щоденна маятникова міграція мешканців населених пунктів в радіусі 50 км навколо Львова (181 тис. поїздок у робочі дні і 79 тис. – у вихідні) та туристична привабливість Львова (більше 2,5 млн туристів за рік) створюють додаткове навантаження на міську транспортну систему. Більшість із цих поїздок здійснюються через вузли зовнішнього транспорту (ВЗТ).

Характеристики вузлів зовнішнього транспорту є основою для розрахунку моделей попиту. Запропоновано метод оцінки притягуючої здатності транспортних районів, які окреслюються ВЗТ. Притягуюча здатність визначена з урахуванням наступних показників: кількість можливих напрямків відправки, кількість альтернативних варіантів відправки, кількість відправок, загальна провізна здатність вузла, часовий період роботи та відсотковий розподіл відправок з вузла за напрямками. При розподілі міських поїздок ці показники часто мають набагато більший вплив, ніж відстань поїздки.

У роботі проаналізовано сучасні методи проведення транспортного районування території з урахуванням особливостей конкретного місця та мети проектування для подальшого розрахунку матриці попиту на поїздки. Введено показник балануючого множника, який визначає ступінь привабливості кожного варіанту вибору вузла та основі сумарної бальної оцінки. З урахуванням соціально-економічних характеристик Львова обрано за мету коректування матриці студентських переміщень до вузлів зовнішнього транспорту для подальшого виконання позаміських поїздок. Для аналізу отриманих результатів розрахунків проведено опитування серед студентів навчальних закладів Львова щодо вибору ними вузла зовнішнього транспорту. Різниця між розподілом притягуючої здатності вузлів за результатами обчислень та анкетувань не перевищує 8,2%.

***Ключові слова:** притягуюча здатність, вузол зовнішнього транспорту, модель попиту, альтернативи вибору, транспортний район.*

Постановка проблеми. Львів належить до категорії крупних міст з кількістю жителів 725 тисяч та щільністю населення 3982 особи/км². Враховуючи туристичну привабливість Львова, щороку його відвідують більше 2,5 млн. туристів, а щоденна маятникова міграція мешканців населених пунктів в радіусі 50 км навколо Львова (181 тис. поїздок у робочі дні і 79 тис. – у вихідні) створює додаткове навантаження на міську транспортну систему. В'їзд та виїзд з міста відбувається через вузли зовнішнього транспорту, яких у Львові є 11: аеропорт, два залізничних вокзали, залізнична станція та сім автостанцій. Міською територією, згідно досліджень, 52% користувачів транспортної системи переміщуються громадським тран-

спортом (з них 58% – автобусним, 27% – трамвайним та 15% – тролейбусом) [1].

Львів є третім серед міст України (після Києва та Харкова) за кількістю студентів і першим за їх часткою відносно загальної кількості населення (17%). Тому студентські переміщення здійснюють значний вплив на величину міських пасажиропотоків. Врахування цих чинників необхідне при прогнозуванні попиту на пасажирські перевезення громадським транспортом. При формуванні матриць кореспонденцій до вузлів зовнішнього транспорту Львова необхідно враховувати їх притягуючу здатність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поділ досліджуваної території на транспортні райони передусім побудові будь-якої моделі тран-

спортної системи [2, с. 6]. На сьогодні досі немає чітких і однозначних критеріїв виконання такого поділу. При визначенні меж транспортних районів варто пам'ятати, що межа району не повинна проходити транспортною мережею, а центр тяжіння району має співпадати з головним транспортним вузлом чи лежати на транспортній мережі, адже відстані між транспортними районами визначаються як відстані між їх центроїдами [3]. При плануванні переміщень громадським транспортом центр тяжіння району доцільно суміщати з зупинкою громадського транспорту [4, с. 74]. Доцільно проводити районування з урахуванням однорідності території як щодо використання землі, так і щодо доступності транспортних послуг [2, с. 8]. Транспортне районування суттєво впливає на точність результатів побудови матриць попиту-позиції [5, с. 597].

Сучасні дослідження все частіше звертаються при транспортному районуванні до принципу адаптивного районування, який дозволяє зменшити кількість районів, і, відповідно, трудомісткість обрахунків, зберігаючи при цьому точність отриманих результатів [6]. Зокрема, в роботі [7, с. 674] цей підхід застосовується шляхом формування малих районів (висока просторова точність) в місці призначення поїздки та великих районів (низька просторова точність) в місці генерації поїздки.

Характеристики транспортних районів є основою для розрахунку моделей попиту. При розподілі міських поїздок ці показники часто мають набагато більший вплив, ніж відстань поїздки [8, с. 183]. Проте стандартні соціально-економічні змінні (величина населення чи кількість місць праці) не завжди є точними показниками привабливості пункту призначення [9, с. 3]. Загалом виділяють чотири основних види доступності: доступність на основі інфраструктури, доступність на основі місця розташування, доступність на основі індивідуальних характеристик споживача та доступність на основі рівня корисності [10, с. 211].

У роботі [11, с. 16] пропонується вдосконалення традиційних моделей розподілу поїздок шляхом врахування при виборі пункту призначення для міжміських поїздок індивідуальних характеристик користувача з застосуванням алгоритмів непараметричного дерева рішень. Аналіз проводився на основі даних, зібраних в м. Баїя, Бразилія. Також аналіз та моделювання вибору місця призначення з порівняно невеликого набору альтернатив проведено в роботі [12]. Проте автори аналізували тільки пішохідні переміщення.

Постановка завдання. Матриці кореспонденцій між транспортними районами є різними навіть для територій зі схожими соціально-економічними та географічними характеристиками. Кількість користувачів, які подорожують між транспортними районами, формує попит на поїздки. Притягуюча здатність району призначення має суттєвий вплив на формування попиту на перевезення у різних транспортних районах. Якщо в якості транспортного району виступає вузол зовнішнього транспорту, то характеристики таких районів визначатимуться характеристиками транспортного вузла та рівнем обслуговування пасажирів, що прибувають чи відправляються з цього вузла.

Основна мета дослідження – оцінити притягуючу здатність ВЗТ, сформувати матрицю кореспонденцій до вузлів зовнішнього транспорту Львова та оцінити адекватність результатів на основі опитування користувачів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Моделі попиту на сьогоднішній час є основним інструментом вирішення більшості проблем в плануванні та управлінні транспортними системами. Середню кількість поїздок, які володіють певними характеристиками і виконуються в певний період часу, визначають з допомогою моделей попиту, що базуються на поїздках (trip-based demand models). Характеристики поїздки включають клас користувача (i), райони відправки та призначення переміщення (o , d), мету переміщення, чи, точніше пару цілей (s), період часу, коли відбувається переміщення (h), режим або послідовність режимів руху, які використовуються під час переміщення (m), та шлях переміщення (k), тобто набір зв'язків (відрізків), які з'єднують центроїди зони відправки o та зони призначення d і надають транспортну послугу, що забезпечується режимом m . Відповідно, формально модель попиту можна записати у вигляді [2, с. 172]:

$$d_{od}^i [s, h, m, k] = d(SE, T) \quad (1)$$

Функцію глобального попиту з міркувань аналітичної зручності доцільно розкласти на добуток підмоделей. Найбільш часто використовуваною послідовністю є набір з чотирьох моделей: модель частоти поїздок, модель розподілу, модель вибору режиму та модель вибору шляху руху – так звана чотирьохступінчата модель [2, с. 173]:

$$d_{od}^i [s, h, m, k] = d_o^i [sh](SE, T) \cdot p^i [d / osh](SE, T) \times p^i [m / oshd](SE, T) \cdot p^i [k / oshdm](SE, T) \quad (2)$$

Попит на поїздки зазвичай виражається матрицями попиту-пропозиції, елементи яких представляють кількість користувачів, які подорожують між транспортними районами [13, с. 271]. Відповідно, для проведення розрахунків необхідна інформація про кількість користувачів в районі відправки, що належать до класу *i* та про притягуючу здатність району призначення для цих користувачів.

Якщо в якості транспортного району виступає вузол зовнішнього транспорту, то характеристики таких районів визначатимуться характеристиками транспортного вузла та характеристиками рівня обслуговування пасажирів, що прибувають чи відправляються з цього вузла.

Загалом у Львові можна виділити 11 районів, які є основними вузлами зовнішнього транспорту. При

виборі району відправки користувач, в першу чергу, враховує тип (приміське, міжміське чи міжнародне сполучення) та напрямок свого переміщення. В приміському переміщенні є 8 альтернатив вибору ВЗТ, у міжміському – 7 альтернатив, а в міжнародному – 5.

Провізна здатність вузла зовнішнього транспорту визначається сумарною кількістю пасажирів, які проходять через вузол за одиницю часу (зазвичай, годину або добу) [14, с. 97]. Якщо завантаженість ВЗТ визначає характеристики транспортного району, то генеруючу здатність району можна розрахувати на основі кількості прибуттів транспортних засобів та їх пасажиромісткості, а притягуючу здатність – на основі кількості відправок та пасажиромісткості [15, 16]. Атрибути та альтернативи вузлів зовнішнього транспорту подано в табл. 1 та на рис. 1-2.

Таблиця 1

Атрибути вузлів зовнішнього транспорту Львова

Умовне позначення вузла ЗТ	Вузол ЗТ	Максимальна завантаженість вузла на відправку, пас. / добу	Основний тип переміщень
A	Головний залізничний вокзал	15851	міжміські
B	Приміський залізничний вокзал	31395	приміські
C	Станція «Підзамче»	7560	міжміські
D	Автовокзал № 1	5635	міжнародні
E	Автостанція № 2	17331	приміські
F	Автостанція № 4	5950	приміські
G	Автостанція № 5	3900	приміські
H	Автостанція № 6	6400	приміські
K	Автостанція № 8	2865	міжнародні
L	Автостанція «Західна»	4441	приміські
M	Аеропорт	6750	міжнародні

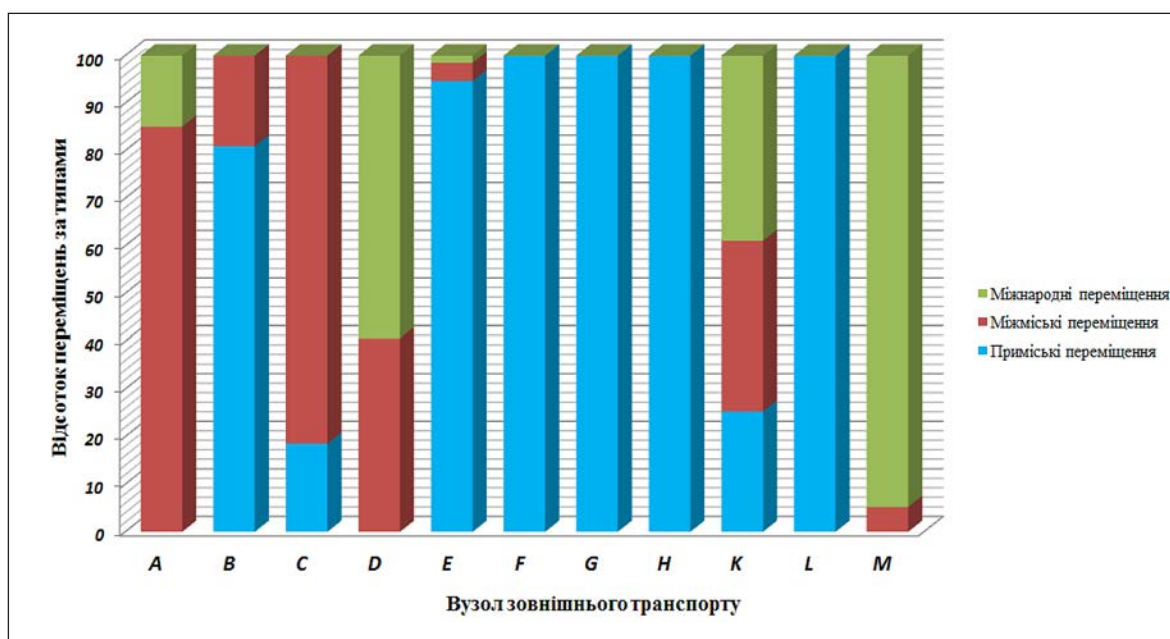


Рис. 1. Альтернативи вузлів зовнішнього транспорту за типом переміщення

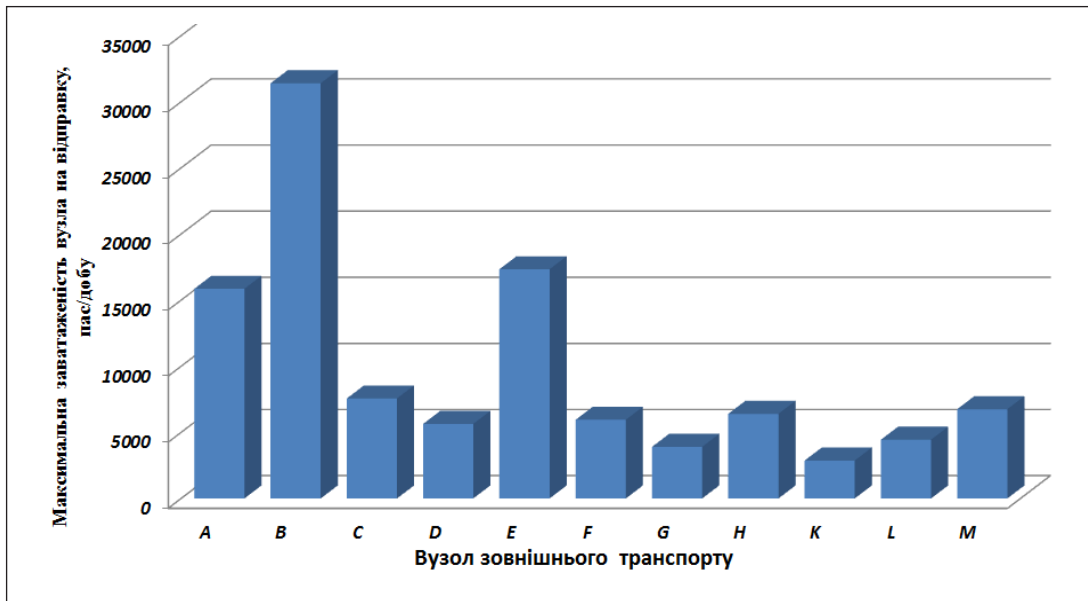


Рис. 2. Альтернативи ВЗТ за об'ємом перевезень

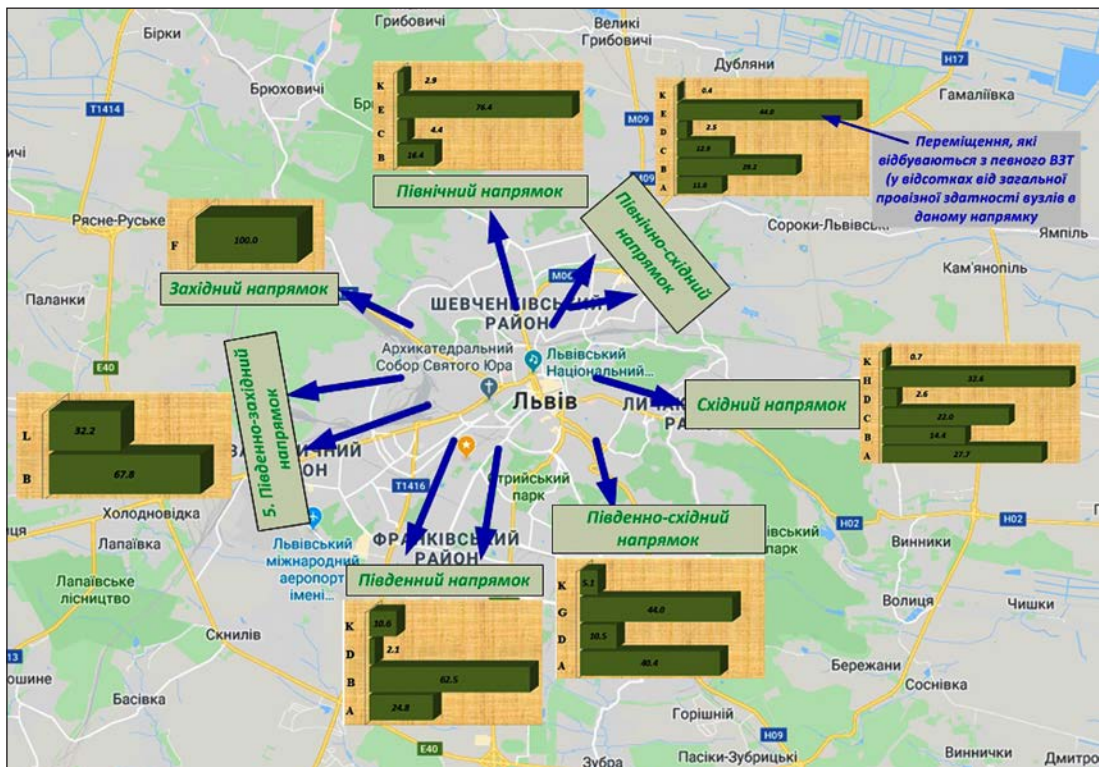


Рис. 3. Атрибути привабливості вузлів зовнішнього транспорту за напрямками руху

Кожен із типів переміщень має свої варіанти напрямків руху. Враховуючи географічне розташування Львова, рух із вузлів зовнішнього транспорту можливий у 10 напрямках. Оскільки для подальшого аналізу обрано внутрішні переміщення, то аеропорт в подальшому не розглядається як альтернатива. Відповідно, на основі аналізу можливих альтернатив вузлів зовнішнього транспорту для кожного з напрямків, можна оста-

точно виділити 7 варіантів руху, з яких південно-західний та північний напрямки – це практично повністю приміські переміщення, а в західному напрямку рух відбувається тільки з вузла F (немає альтернатив вибору вузла).

На основі розподілу відправок за напрямками розраховано відсоток переміщень, що відбуваються з певного вузла, для кожного напрямку (рис. 3).

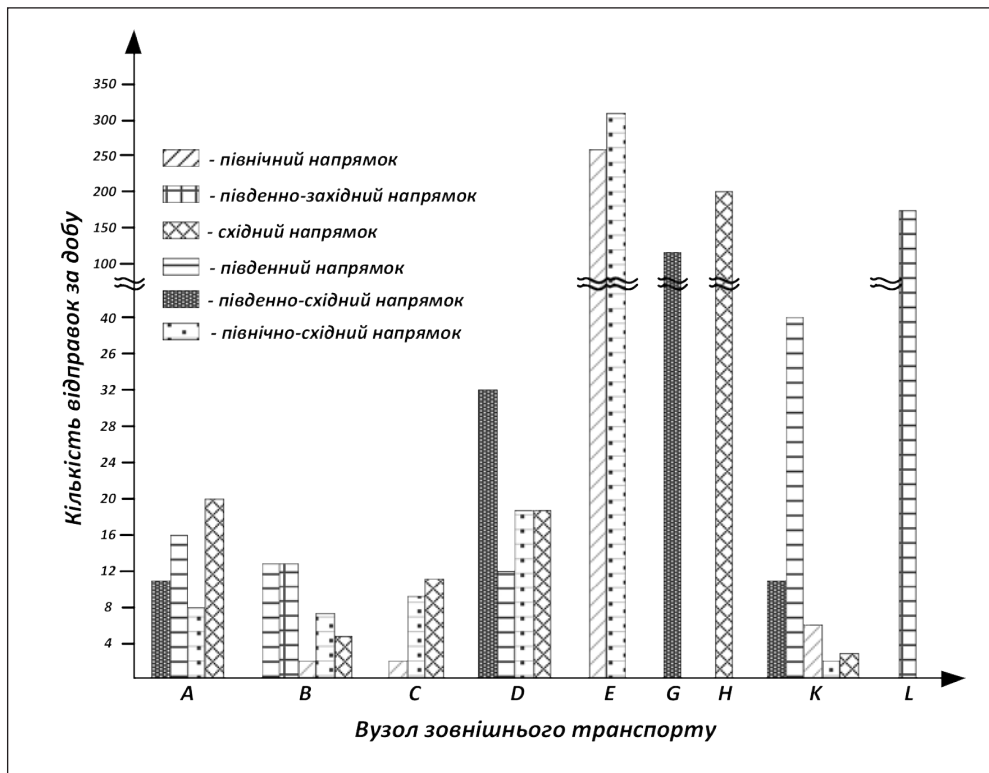


Рис. 4. Атрибути привабливості ВЗТ за кількістю відправок

Вплив рівня обслуговування пасажирів на притягуючу здатність транспортного району визначено з врахуванням балансуєчого множника, який оцінює атрибути привабливості кожного варіанту вибору. При розрахунку балансуєчого множника враховувалися такі показники: кількість відправок протягом доби, кількість годин роботи протягом доби, кількість можливих напрямків руху з вузла, кількість альтернативних вузлів та відсотковий розподіл відправок з вузла за напрямками.

На рис. 4-5 наведено атрибути привабливості для оцінки кожного з альтернативних районів при виконанні переміщень в певному напрямку.

Показники привабливості вузлів оцінювалися в бальній системі від 1 до 9 (чим більший бал, тим краще значення показника для вузла). Сума усіх балів визначає рейтингову оцінку i -ого вузла R_{ETH_i} . Балансуєчий множник визначався за формулою:

$$k_{att_i} = \frac{R_{ETH_i}}{\sum_{i=1}^n R_{ETH_i}} \quad (3)$$

Значення розрахунків балансуєчих множників подано в таблиці 2.

Притягуюча здатність транспортного району визначена за рівністю:

$$A_i = P_i \cdot k_{att_i} \quad (4)$$

де P_i – максимальна завантаженість ВЗТ; k_{att_i} – балансуєчий множник.

Розраховані притягуючі здатності транспортних районів наведено в табл. 3.

Адекватність отриманих результатів притягуючих зданостей вузлів зовнішнього транспорту перевірено шляхом проведення опитувань серед студентів ВНЗ м. Львова. Отримані результати опитувань та наведено на рис. 6.

Вибірка включала 300 студентів різних навчальних закладів. Розбіжність у результатах розрахунків притягуючої здатності ВЗТ та результатах опитувань не перевищує 8,2%, що свідчить про адекватність розрахованої притягуючої здатності вузлів зовнішнього транспорту. Результати розрахунків опрацьовано у програмному середовищі PTV VISION VISUM з адаптацією в транспортну модель Львова. Зонами генерації поїздок є місця компактного проживання студентів (студмістечка чи гуртожитки). Розрахована на основі цих даних матриця кореспонденцій дозволить оцінити зростання пасажиропотоку у вузлах зовнішнього транспорту у передвихідні та передсвяткові дні за рахунок студентських поїздок.

Висновки. Основні внески запропонованого підходу:

1. Запропоновано оцінку попиту на перевезення на основі притягуючої здатності вузлів зовнішнього транспорту великих міст. Це дозволить більш точно визначити попит на перевезення у ВЗТ та прогнозувати пікові навантаження на міський громадський транспорт.

2. Запропоновано оцінку адекватного розрахунку попиту на основі анкетування визначених груп користувачів громадського транспорту міста.

3. Для визначення привабливості ВЗТ запропоновано атрибути привабливості та балансуєчий множник як можливість оцінки вибору альтернативи.

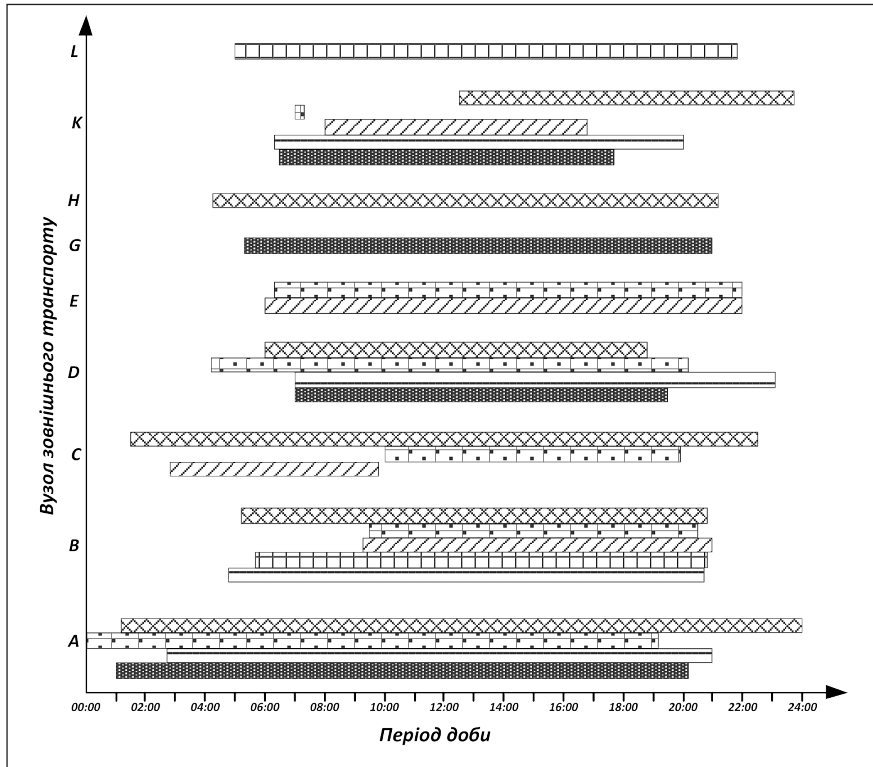


Рис. 5. Атрибути привабливості вузлів зовнішнього транспорту за часом роботи

Таблиця 2

Балансуєчі множники для розрахунку притягуючої здатності транспортних районів ВЗТ

Вузол ЗТ	Бал за показник					R_{ETH_i}	k_{att_i}
	Кількість відправок	Час роботи	Кількість напрямків	Кількість альтернатив	Розподіл по напрямках		
A	3	9	8	5	8	33	0,120
B	2	3	9	5	6	25	0,097
C	1	8	7	6	5	27	0,105
D	5	7	8	5	7	32	0,125
E	9	2	6	7	9	33	0,128
G	6	1	5	8	3	23	0,090
H	8	5	5	7	3	28	0,109
K	4	6	9	5	4	28	0,109
L	7	4	5	9	3	28	0,109

Таблиця 3

Притягуючі здатності транспортних районів ВЗТ

Вузол ЗТ	A	B	C	D	E	G	H	K	L
Притягуюча здатність	1902	3045	794	705	2218	351	698	312	484

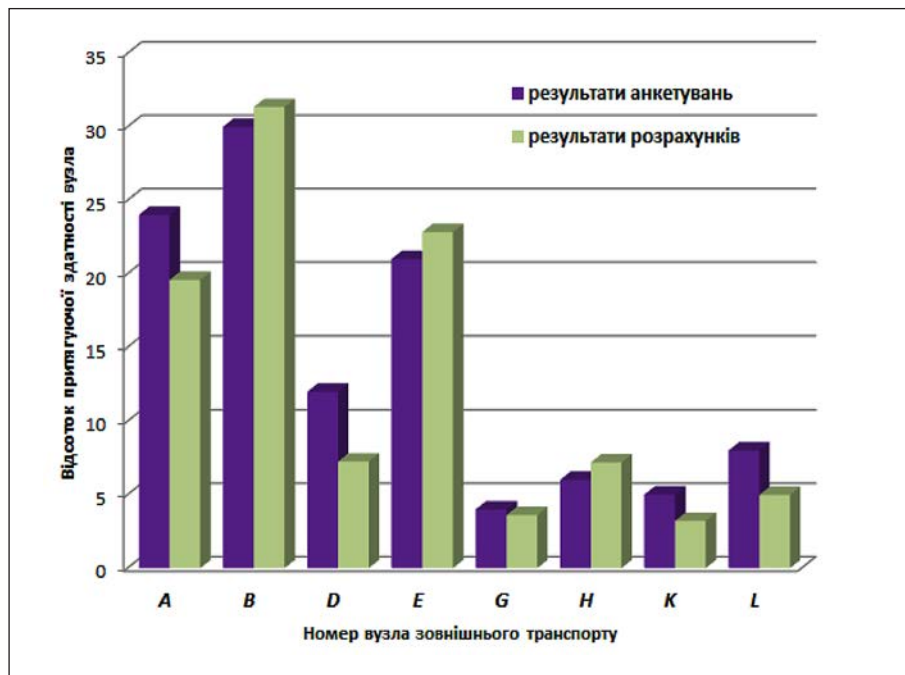


Рис. 6. Притягуюча здатність ВЗТ Львова: результати розрахунків та опитувань

Список літератури:

1. Веб-сторінка «Мобільність Львова». URL: <https://mobilitylviv.com/> (дата звернення: 11.11.2019).
2. Ennio Cascetta. *Transportation Systems Analysis/ models and Applications*. Second Edition. New York: Springer Science + Business Media, LLC, 2009. 742 p.
3. Ройко Ю.Я. Щодо визначення основних принципів транспортного районування. In: *Транспортные проблемы крупнейших городов*, 2012. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/29545/1/34.pdf> (дата звернення 31.10.2019).
4. Горбачов П.Ф., Свічинський С.В. Аналіз матриці відстаней між транспортними районами міста як основи функції розселення населення. *Автомобільний транспорт*. Харків, 2010. Вип. 27. С. 73–76.
5. Luis M. Martínez, José Manuel Viegas, Elisabete A. Silva. A traffic analysis zone definition: a new methodology and algorithm. *Transportation*. 2009. Volume 36, Issue 5. Pp. 581–599.
6. Alex Hagen-Zanker, Ying Jin. A new method of adaptive zoning for spatial interaction models. *Geographical Analysis*, 2012. 44(4). Pp. 281–301.
7. Alex Hagen-Zanker, Ying Jin. Adaptive Zoning for Efficient Transport Modelling in Urban Models. *International Conference on Computational Science and Its Applications: ICCSA, 2015*. Pp. 673–687.
8. A. Sbaï, H. J. Van Zuylen, J. Li, F. F. Zheng, F. Ghadi. Estimation of an urban OD matrix using different information sources. *International Conference on Computational Science and Its Applications: ICCSA 2017*. Pp. 183–198.
9. Joseph Molloy. Development of a Destination Choice Model for Ontario. Technical University of Munich. 2016. 74 p. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/d1a6/9cb018a8030286e5e64a2ec598d56f292dc5.pdf> (дата звернення 13.11.2019).
10. Bert van Wee, Jan Anne Annema, David Banister. *The Transport System and Transport Policy*. Edward Elgar, UK. 2013. 399 p.
11. Cira Souza Pitombo, Andreza Dornelas de Souza, Anabele Lindner. Comparing decision tree algorithms to estimate intercity trip distribution. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Volume 77, April 2017. Pp. 16–32.
12. K. Clifton, P.A. Singleton, C.D. Muhs, R.J. Schneider. Development of destination choice models for pedestrian travel. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Volume 94, December 2016. Pp. 255–265.
13. Ennio Cascetta, Francesco Russo. Calibrating aggregate travel demand models with traffic counts: Estimators and statistical performance. *Transportation*. 1997. Volume 24, Issue 3. Pp. 271–293.

14. Бондар А. Транспортно-пересадочний вузол як елемент планувальної структури міста. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2016. Вип. 88. С. 91–99.
15. Розклади транспорту. URL: <http://bus.com.ua/> (дата звернення 13.11.2019).
16. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці. URL: <https://www.uz.gov.ua/passengers/timetable/> (дата звернення 13.11.2019).

Zhuk M.M., Pivtorak H.V. THE EVALUATION THE FLOW ATTRACTED BY EXTERNAL TRANSPORT HUB IN LVIV

Daily commuting of residents of settlements within a radius of 50 km around Lviv (181,000 weekdays and 79,000 weekends) and Lviv tourist attraction (more than 2.5 million tourists per year) create an additional load on the urban transport system. Most of these trips are made through external transport hubs. The characteristics of external transport hubs are the basis for calculating demand models. A method of estimating the attractiveness of the transport zones identified by the external transport hubs is proposed. Attractive capacity is determined by the following indicators: the number of possible destinations, the number of alternatives, the number of departures, the total capacity of the hub, the time period and the percentage of dispatches from the hub by destination. In the distribution of urban trips, these indicators often have a much greater impact than the distance traveled.

The paper analyzes the modern methods of transport zoning of the territory, introduced account the characteristic property of a specific place and the purpose of design for further calculation of the matrix of demand for travel. An indicator of the balancing factor is introduced, which determines the degree of attractiveness of each variant of the external transport hub choice and the basis of the total point score. Taking into account the socio-economic characteristics of Lviv, it was chosen for the purpose of adjusting the matrix of student transfers to external transport hubs for further suburban trips. In order to analyze the results of the calculations, a survey was conducted among students of Lviv educational institutions regarding the choice of a external transport hub. The difference between the distribution of attracting by hubs according to the results of calculations and questionnaires does not exceed 8.2%.

Key words: *flow attracted by zone, external transport hub, demand model, alternative choice, traffic zone.*