

Півторак Г.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

Гіць І.І.

Національний університет «Львівська політехніка»

Півторак С.І.

Національний університет «Львівська політехніка»

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ДОСТАВКИ ОСТАННЬОЇ МИЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОГО АНАЛІТИЧНОГО ПІДХОДУ¹

Доставка останньої милі є важливою частиною економічного, соціального та екологічного функціонування міст. Зростання обсягів доставки останньої милі в поєднанні зі зростанням запитів клієнтів щодо часу доставки та необхідністю підвищувати сталість міської логістики спричинило появу нових концепцій організації такої доставки. На основі аналізу літературних джерел виокремлено п'ять параметрів, якими можна охарактеризувати доставку останньої милі: вартість, швидкість, технологічність, екологічність та наявність альтернатив для користувача. Сприйняття цих параметрів різними учасниками (вантажовідправниками, перевізниками, міськими жителями та органами планування, регулювання і контролю) відрізняється.

У проведеному дослідженні на основі опрацювання думок експертів з використанням методу нечіткого аналітичного підходу (який дає змогу врахувати суб'єктивність окремих суджень) проведено оцінку значимості параметрів доставки останньої милі з позиції надавачів послуг доставки та з позиції наукової спільноти. В роботі проведено розрахунок ваг окремих параметрів доставки.

Виявлено, що експерти з наукової спільноти та експерти-практики сходяться в оцінці важливості швидкості доставки, проте значимість решти параметрів відрізняється за оцінкою цих груп експертів. Ціна доставки стоїть на другому місці в ранжованих рядах параметрів доставки, проте має більшу значимість для надавачів послуг. Екологічність доставки є важливішою за оцінками експертів-науковців. Практики більше уваги приділяють технологічності та наявності альтернатив. Отримані результати можуть бути корисними при оцінюванні різних способів організації доставки останньої милі.

Ключові слова: доставка останньої милі, експертні опитування, нечіткий аналітичний підхід, параметри доставки, альтернативи доставки.

Постановка проблеми. Логістична діяльність, пов'язана з доставкою вантажів приватним клієнтам у міських районах (доставка останньої милі – last-mile delivery (LMD)), є важливим питанням економічного, соціального та екологічного функціонування міст. При плануванні роботи міського вантажного транспорту можна виділити чотири основні зацікавлені сторони: вантажовідправників, перевізників, жителів міста та органи планування, регулювання і контролю. Кожна група має свої власні цілі та потреби, які необхідно враховувати. Відповідно, оцінка альтернатив доставки останньої милі може відрізнятися для різних учасників процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зростання актуальності досліджень проблем доставки останньої милі викликане низкою чинників,

зокрема різким зростанням обсягів такої доставки. Це, в свою чергу, загострює екологічні проблеми та проблеми завантаженості міської вуличної мережі. Додатковим чинником тиску є зростання вимог клієнтів щодо швидкості доставки та питання вартості [1; 2]. Вирішення вищезазначених проблем вимагає пошуку нових концепцій LMD.

Традиційна доставка додому, попри зручність для клієнтів, є одним з найгірших рішень для постачальників, зокрема через велику ймовірність повторних доставок і, відповідно, зростання вартості доставки [3]. Концепція непрямих доставок (наприклад, в скриньки для посилок, доставка до багажника автомобіля, системи доступу до будинку) допомагає уникнути цього недоліку [4; 5]. В праці [6] досліджується можлива

¹ This project has received funding through the MSCA4Ukraine project, which is funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union. Neither the European Union nor the MSCA4Ukraine Consortium as a whole nor any individual member institutions of the MSCA4Ukraine Consortium can be held responsible for them.

економічна ефективність доповнення роздрібними компаніями доставки власного автопарку краудсорсинговими автомобілями для задоволення запиту клієнтів на доставку в день замовлення. Інноваційні рішення, зокрема, доставка дронами, мають значні перспективи, хоча все ще неоднозначно сприймаються користувачами [7]. Ще одним способом трансформації послуг доставки останньої милі є краудшипінг – доставка непрофесійними кур'єрами, які інтегрують маршрути доставки вантажу з власним маршрутом переміщення [8].

Незважаючи на різноманітність концепцій доставки останньої милі, їх ефективність можна описати певними типовими параметрами. Існуючі дослідження зосереджені на вивченні цих чинників та оцінці їх впливу на процес планування LMD (табл. 1).

Аналіз експертних думок використовується в науковій літературі для вирішення неформалізованих задач. Наприклад, в праці [18] на основі результатів опитувань 54 експертів автори вивчають питання співвідношення між перевагами та витратами різних заходів оптимізації міської логістики та ефективність цих заходів для населення, роздрібних торговців та транспортно-логістичних операторів. Автори [19] використовують сценарне планування для прогнозування розвитку доставки останньої милі на основі результатів опитувань 36 експертів. В роботі [20] на основі експертних оцінок 5 експертів проводиться ранжування критеріїв оцінки якості послуг громадського транспорту.

Нечіткий аналітичний підхід є ефективним інструментом у випадку аналізу відповідей, що виражають рівень сприйняття респондентом значимості, ефективності чи важливості для нього певного показника або параметру. Теорія нечітких множин, яка лежить в основі цього методу, дає змогу врахувати суб'єктивність окремих суджень, оцінених за шкалою Лейкарта. В праці [21] нечіт-

кий аналітичний підхід використано для оцінки якості надання послуг на прикладі обслуговування клієнтів банку. Автори [22] використовують метод нечіткої аналітичної ієрархії для рейтингування показників розумного міста (smart city), цей метод застосовується при оцінці критеріїв якості роботи громадського транспорту [23; 24], індикаторів сталості міських транспортних систем [25], чинників, що впливають на фрахтові ставки при морських перевезеннях [26].

Постановка завдання. Зростання обсягів доставки останньої милі викликало зростання кількості способів організації такої доставки. Оцінка альтернатив LMD відбувається на основі певного переліку параметрів доставки. Проте відносна значимість цих параметрів відрізняється для різних зацікавлених сторін.

Основна ціль дослідження – визначити значимість окремих параметрів доставки останньої милі з позиції надавачів послуг доставки та наукової спільноти на основі аналізу експертних опитувань з використанням нечіткого аналітичного підходу.

Виклад основного матеріалу. Метод нечіткого аналітичного підходу полягає у виконанні таких кроків [21; 27]:

1) Формування нечітких матриць попарних порівнянь показників $A = (a_{ij})_{m \times n}$ для кожного з експертів, де кожне значення має вигляд нечіткого трикутного числа $a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, і $l_{ij} = \frac{1}{l_{ji}}$, $m_{ij} = \frac{1}{m_{ji}}$, $u_{ij} = \frac{1}{u_{ji}}$;

2) Розрахунок нечітких синтетичних ступенів кожного параметру на основі даних кожної матриці:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}, \quad (1)$$

де

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right), \quad (2)$$

Таблиця 1

Узагальнення теоретичних досліджень параметрів LMD

Автор(и)	Параметри, які досліджуються
Лу (Lu) та ін. [9], Лю (Liu) та ін. [10]	Швидкість та вчасність доставки
Борсенбергер (Borsenberger) та ін. [11], Секгезі (Seghezzi) та ін. [12]	Вартість доставки
Раньєрі (Ranieri) та ін. [13], Бертрам та Чи (Bertram & Chi) [14]	Сталість доставки, вплив на навколишнє середовище
Бойсен (Boysen) та ін. [1], Ха (Ha) та ін. [15]	Використання технологічних інновацій в процесі доставки (дрони, автономні транспортні засоби)
Сонг (Song) та ін. [16], Свядленка (Svadlenka) та ін. [17]	Варіанти організації доставки (традиційна доставка автомобілями служб доставки, краудшипінг, адресна доставка або доставка в поштамати тощо)

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right); \quad (3)$$

3) Розрахунок ступенів можливостей для кожного з поєднань параметрів:

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{якщо } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - u_1)}, & \text{решта випадків} \end{cases}; \quad (4)$$

4) Формування нормалізованих векторів ваги для кожного з критеріїв:

$$W = [d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)]^T, \quad (5)$$

де $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad k \neq i$;

5) Формування загального вектору ваги критеріїв визначенням середнього арифметичного або середнього геометричного вагових коефіцієнтів думок кожного з експертів.

В результаті проведеного аналізу літературних джерел, підсумованого в табл. 1, визначено 5 параметрів, які характеризують доставку останньої милі: швидкість доставки (П1), ціна доставки (П2), екологічність доставки (П3), використання технологічних інновацій при доставці (П4) та наявність альтернатив способу доставки (кур'єрська доставка додому, доставка в поштомат, можливість вибору часового вікна доставки тощо) (П5). Опитування проведено серед 19 експертів, 10 з яких є вченими-теоретиками (мають наукові ступені в галузі «Транспорт»), а 9 – практиками (працюють в сфері логістики доставки). Кожен з параметрів експерти оцінювали за 5-тибальною шкалою Лейкарта, де оцінка 5 присвоювалася найважливішому індикатору, а оцінка 1 – найменш важливому.

Коефіцієнт конкордації Кендалла для вибірки з експертів-вчених становить 0,78, а для вибірки з експертів-практиків – 0,89, що свідчить про узгодженість думок.

В табл. 2 подано нечітку матрицю попарних порівнянь оцінок одного з експертів. Всього сформовано 19 таких матриць.

Нечіткі синтетичні ступені оцінки параметрів першим експертом визначаються за формулою (1):

$$\begin{aligned} S_{П1} &= (9.33, 11.42, 13.5) \otimes \left(\frac{1}{42.67}, \frac{1}{34.25}, \frac{1}{26.78} \right) = \\ &= (0.219, 0.333, 0.504), \\ S_{П2} &= (0.168, 0.267, 0.417), \\ S_{П3} &= (0.120, 0.200, 0.327), \\ S_{П4} &= (0.076, 0.133, 0.230), \\ S_{П5} &= (0.046, 0.067, 0.115). \end{aligned}$$

Значення ступенів можливостей для оцінок першого експерта розраховано за формулою (4):

$$\begin{aligned} V(S_1 \geq S_{2,3,4,5}) &= V(S_2 \geq S_{3,4,5}) = \\ &= V(S_3 \geq S_{4,5}) = V(S_4 \geq S_5) = 1, \\ V(S_5 \geq S_{2,3}) &= 0, \quad V(S_2 \geq S_1) = 0,304, \\ V(S_3 \geq S_1) &= 0,27, \quad V(S_3 \geq S_2) = 0,237, \\ V(S_4 \geq S_1) &= 0,225, \quad V(S_4 \geq S_2) = 0,199, \\ V(S_4 \geq S_3) &= 0,17, \quad V(S_5 \geq S_1) = 0,146, \\ V(S_5 \geq S_4) &= 0,097. \end{aligned}$$

Нормалізовані вектори ваги критеріїв на основі оцінок експертів обох груп, розраховані за формулою (5), подано в табл. 3.

Узагальнена оцінка критеріїв подана на рис. 1.

Обидві групи експертів вважають швидкість доставки найбільш значимим параметром. Ціна є другим за рангом критерієм, проте практики оцінюють її значимість відчутно вище. Екологічність доставки є важливішою для наукової спільноти (третє місце в ранжованому ряді параметрів), тоді як практики більше уваги приділяють технологічності та наявності альтернатив (що зменшує ризик невиконання доставки).

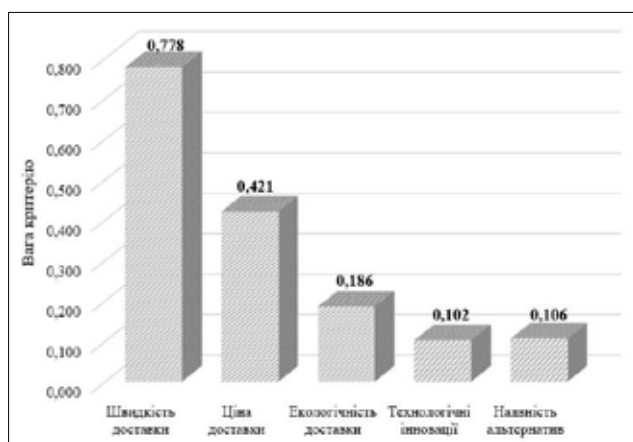
Таблиця 2

Нечітка попарна матриця порівнянь оцінок параметрів LMD (експерт 1)

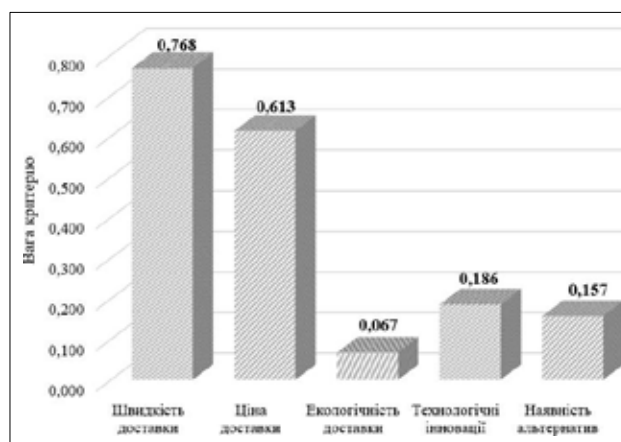
	П1	П2	П3	П4	П5	Сума
П1	(1,1,1)	(1,5/4,3/2)	(4/3,5/3,2)	(2,5/2,3)	(4,5,6)	(9.33,11.42,13.5)
П2	(2/3,4/5,1)	(1,1,1)	(1,4/3,5/3)	(3/2,2,5/2)	(3,4,5)	(7.17,9.13,11.17)
П3	(1/2,3/5,3/4)	(3/5,3/4,1)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(2,3,4)	(5.1,6.85,8.75)
П4	(1/3,2/5,1/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3.23,4.57,6.17)
П5	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1.95,2.28, 3.08)
Сума $S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$						(26.78,34.25, 42.67)

Нормалізовані вектори ваги критеріїв доставки останньої милі

Експерти-теоретики	Нормалізований вектор ваги критеріїв W	Експерти-практики	Нормалізований вектор ваги критеріїв
1	(0.17,0.08,0.169,0,0.082)	1	(1,0.304,0.237,0.17,0)
2	(1,0.304,0.237,0.17,0)	2	(1,1,0.131,0.192,0.245)
3	(0.304,1,0.237,0.17,0)	3	(0.303,1,0,0.207,0.147)
4	(1,0.304,0.167,0,0.246)	4	(1,0.304,0,0.173,0.243)
5	(1,0.304,0,0.173,0.243)	5	(0.303,1,0,0.207,0.147)
6	(0.304,1,0.237,0.17,0)	6	(1,0.304,0,0.173,0.243)
7	(1,0.304,0.167,0,0.246)	7	(1,0.304,0,0.173,0.243)
8	(1,0.304,0.167,0,0.246)	8	(0.303,1,0,0.207,0.147)
9	(1,0.304,0.237,0.17,0)	9	(1,1,0.131,0.192,0.245)
10	(1,0.304,0.237,0.17,0)		



а



б

Рис. 1. Ваги критеріїв доставки останньої милі:

а) за оцінками експертів-науковців; б) за оцінками експертів-практиків

Висновки. Доставка останньої милі характеризується рядом параметрів, які визначають її ефективність з позиції надавачів послуг, рівень задоволення користувачів та вплив на міське середовище. На основі аналізу літературних джерел можна виділити п'ять основних параметрів LMD: швидкість виконання доставки, вартість доставки, можливість вибору різних варіантів доставки, технологічні інновації та екологічність.

В результаті проведення опитувань серед групи експертів-теоретиків та експертів-практиків отримано дані щодо оцінки відносної важливості кожного з цих параметрів (експерти оцінювали параметри за 5-тибальною шкалою). Для аналізу даних використано метод нечіткого аналітичного підходу та розраховано ваги кожного параметру окремо для

обох груп експертів. Швидкість та ціна доставки має найбільшу вагу при оцінюванні LMD (що збігається з результатами опитувань онлайн-покупців [28]). Різниця в оцінці значимості екологічних параметрів доставки може пояснюватися тим, що наукова спільнота розуміє важливість екологічних питань для суспільства, проте практики більше зосереджені на завданні задоволення потреб окремого клієнта.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на деталізацію розглядуваних параметрів доставки останньої милі шляхом формування переліку субкритеріїв, які характеризують кожен з параметрів, з подальшим визначенням їх відносної важливості в структурі певного параметру та в структурі загальної оцінки варіанту доставки останньої милі.

Список літератури:

1. Boysen, N., Fedtke, S., Schwerdfeger, S. Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. *OR Spectrum*. 2021, 43, 1–58.
2. Mangiaracina, R., Perego, A., Seghezzi, A., Tumino, A. Innovative solutions to increase last-mile delivery efficiency in B2C e-commerce: a literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2019, 49 (9), 901–920.

3. Buldeo Rai, H., Verlinde, S., Macharis, C. Unlocking the failed delivery problem? Opportunities and challenges for smart locks from a consumer perspective. *Research in Transportation Economics*. 2021, 87, 100753.
4. Vrhovac, V., Vrgović, P., Milisavljević, S., Dudić, Ž., Vasić, S. Last mile delivery service as a crucial factor for business success: Companies' and consumers' perspectives and challenges. *International Korkut Ata scientific researches conference*. Osmaniye, Turkey, 2022. 302–306.
5. Asdecker, B. Building the E-Commerce Supply Chain of the Future: What Influences Consumer Acceptance of Alternative Places of Delivery on the Last-Mile. *Logistics*. 2021, 5 (4), 90.
6. Castillo, V., Bell, J., Mollenkopf, D., Stank T. Hybrid last mile delivery fleets with crowdsourcing: A systems view of managing the cost-service trade-off. *Journal of business logistics*. 2022, 43 (1), 36–61.
7. Merkert, R., Bliemer, M.C.J. and Fayyaz, M. Consumer preferences for innovative and traditional last-mile parcel delivery. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2022, 52 (3), 261–284.
8. Pourrahmani, E., Jaller, M. Crowdshipping in last mile deliveries: Operational challenges and research opportunities. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2021, 78, 101063.
9. Lu, W., McFarlane, D., Giannikas, V., Zhang, Q. An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations. *European Journal of Operational Research*. 2016, 248 (1), 107–122.
10. Liu, S., He, L., Max Shen Z.-J. On-Time Last-Mile Delivery: Order Assignment with Travel-Time Predictors. *Management Science*. 2020, 67 (7), 4095–4119.
11. Borsenberger, C., Cremer, H., De Donder, P., Joram, D. Differentiated Pricing of Delivery Services in the e-Commerce Sector. In: Crew, M., Brennan, T. (eds) *The Future of the Postal Sector in a Digital World. Topics in Regulatory Economics and Policy*. 2016. Springer, Cham.
12. Seghezzi, A., Siragusa, C., Mangiaracina, R. Parcel lockers vs. home delivery: a model to compare last-mile delivery cost in urban and rural areas. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2022, 52 (3), 213–237.
13. Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., Roccotelli, M. A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. *Sustainability*. 2018, 10 (3), 782.
14. Bertram, R. F., and Chi, T. A study of companies' business responses to fashion e-commerce's environmental impact. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. 2018, 11 (2), 254–264.
15. Ha, Q. M., Deville, Y., Pham, Q. D., Hà, M. H. On the min-cost traveling salesman problem with drone. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2018, 86, 597–621.
16. Song, L., Wang, J., Liu C., Bian, Q. Quantifying benefits of alternative home delivery operations on transport in China. *16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, Gyeongju, Korea (South), 2016, 810-815. doi: 10.1109/ICCAS.2016.7832407
17. Svadlenka, L., Pivtorak, H., Vrba, R. Research of the potential opportunities of crowdshipping: The case study of Ukraine and the Czech Republic. *MATEC Web Conference*, 2024, 390, 01010.
18. Russo, F., Comi, A. Investigating the Effects of City Logistics Measures on the Economy of the City. *Sustainability*. 2020, 12, 1439.
19. Peppel, M., Ringbeck, J., Spinler, S. How will last-mile delivery be shaped in 2040? A Delphi-based scenario study. *Technological Forecasting and Social Change*. 2022, 177, 121493.
20. Tumsekali, E., Ayyildiz, E., Taskin, A. Interval valued intuitionistic fuzzy AHP-WASPAS based public transportation service quality evaluation by a new extension of SERVQUAL Model: P-SERVQUAL 4.0. *Expert Systems with Applications*. 2021, 186, 115757.
21. Yu, M.-C., Keng, I., Chen, H.-X. Measuring Service Quality via a Fuzzy Analytical Approach. *International Journal of Fuzzy System*. 2015, 17, 292–302.
22. Deeb, Y. I., Alqahtani, F. K., Bin Mahmoud, A. A. Developing a Comprehensive Smart City Rating System: Case of Riyadh, Saudi Arabia. *Journal of Urban Planning and Development*. 2024, 150, 2.
23. Solanki, V. S., Agarwal, P.K. Identification of key performance indicators using hybrid COPRAS-TOPSIS for urban public transit systems by evaluating with AHP and FAHP. *Multimedia Tools and Applications*. 2024.
24. Gündoğdu, F. K., Duleba, S., Moslem, S., Aydın, S. Evaluating public transport service quality using picture fuzzy analytic hierarchy process and linear assignment model. *Applied Soft Computing*. 2021, 100, 106920.
25. Gulcimen, S., Aydoğan, E. K., Uzal, N. Robust Multicriteria Sustainability Assessment in Urban Transportation. *Journal of Urban Planning and Development*. 2023, 149, 2.
26. Tonguç B., Yorulmaz M. Determining the factors influencing freight rates from the perspective of ship brokers. *International Journal of Transport Economics*. 2023, 50 (1–2), 143–177.
27. Chang, D.Y. Application of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*. 1996, 95 (3), 649–655.
28. Звіт платформи Sendcloud “E-commerce Delivery Compass 2023”. <https://go.sendcloud.com/download/consumer-research-2023>.

Pivtorak H.V., Gits I.I., Pivtorak S.I. EVALUATION OF LAST-MILE DELIVERY PARAMETERS USING FUZZY ANALYTICAL APPROACH

Last-mile delivery is an important part of the economic, social and environmental functioning of cities. The growth of last-mile delivery volumes, combined with the growth of customer requests for delivery times and the need to increase the sustainability of urban logistics, has led to the emergence of new concepts for the organization of such delivery. Based on the analysis of literary sources, five parameters were identified that can be used to characterize last-mile delivery: cost, speed, manufacturability, environmental friendliness, and availability of alternatives for the user. The perception of these parameters by different participants (shippers, carriers, city residents and planning, regulatory and control bodies) is different.

The assessment of the significance of the last-mile delivery parameters from the position of delivery service providers and from the position of the scientific community was carried out according to the study based on processing the opinions of experts using the method of a fuzzy analytical approach (which allows to consider the subjectivity of individual judgments). The paper calculates the weights of individual delivery parameters.

Experts from the scientific community and practical experts agree on the importance of delivery speed, but the significance of the remaining parameters differs according to the assessment of these groups of experts. The price of delivery is in second place in the ranking of delivery parameters, but it is more important for service providers. Eco-friendly delivery is more important according to experts-scientists. Practitioners pay more attention to technology and the availability of alternatives. The obtained results can be useful in evaluating different ways of organizing last-mile delivery.

Key words: *last-mile delivery, expert surveys, fuzzy analytic approach, delivery parameters, delivery alternatives.*