

А.С. Галкін, Ю.О. Давідіч, Г.О. Самчук

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

## РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕЛАСТИЧНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ПОПИТУ В РОЗДРІБНІЙ МЕРЕЖІ В УМОВАХ ЛОГІСТИКИ, КЕРОВАНОЇ СПОЖИВАЧЕМ

У статті розроблено та апробовано математичні моделі для оцінки еластичності попиту в роздрібних мережах. Аналізуються ключові фактори, що впливають на попит, з урахуванням динамічних змін ринку та споживчої поведінки. Запропоновані моделі дозволяють роздрібним мережам приймати ефективні управлінські рішення та підвищувати ефективність логістичних процесів.

**Ключові слова:** еластичність попиту, роздрібна мережа, логістика, математичне моделювання, параметри попиту, споживча поведінка.

### Постановка проблеми

Оцінка еластичності параметрів попиту є важливим завданням для управління роздрібною мережею. Роздрібні мережі повинні розуміти, як зміни в різних параметрах впливають на поведінку кінцевих споживачів та обсяги споживання товарів [1]. Нині існує потреба в розробці комплексних математичних моделей, які можуть точно оцінювати ці параметри в динамічних умовах ринку, особливо в умовах логістики, керованої споживачем [2–4].

Ця стаття складається з кількох ключових розділів. Спочатку вводиться контекст і проблема оцінки еластичності попиту. Далі розглядаються наявні підходи в науковій літературі та виявляються їхні недоліки. Потім пропонуються нові математичні моделі, які об'єднують різні параметри попиту. Завершується стаття аналізом результатів застосування цих моделей і висновками з рекомендаціями.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Оцінка попиту є однією з ключових задач в управлінні роздрібними мережами, і існують різноманітні підходи до моделювання попиту, включно з регресійними моделями, моделями часових рядів та моделями машинного навчання. Значна увага приділяється вивченню факторів, що впливають на попит, серед яких ціна товарів, доходи споживачів, маркетингові стратегії та інші соціально-економічні показники [5, 6].

Г. Армстронг та ін. наголошують на важливості врахування різних економічних факторів, зокрема цін та доходів, при прогнозуванні попиту [7]. Водночас Р. Гамільтон підкреслює необхідність врахування поведінкових аспектів споживачів при моделюванні попиту, наприклад, як зміни в ціні та маркетингових

стратегіях впливають на споживчі рішення [8].

Інтегровані моделі управління попитом, досліджені В. Кумар та В. Рейнартц, зосереджені на взаємодії між різними факторами: ціною, якістю товару та маркетинговими заходами. Вони підкреслюють важливість інтеграції цих факторів для підвищення точності прогнозування попиту [9].

Дослідження Дж. Хван та ін. зосереджене на використанні методів машинного навчання для моделювання попиту. Вони пропонують концептуальну рамку для управління досвідом споживачів і креації сервісів, що може значно покращити точність прогнозів попиту в динамічних ринкових умовах [10].

Незважаючи на значний обсяг досліджень, більшість з них зосереджена на статичних моделях, які не враховують динамічні зміни в поведінці споживачів та конкурентному середовищі. Крім того, недостатньо уваги приділяється інтеграції різних параметрів попиту та їхньої взаємодії.

Р. Гамільтон відзначає, що багато моделей не враховують комплексної взаємодії між різними параметрами попиту, як-от ціна, якість товару, доходи споживачів та інші фактори. Це створює прогалини у знаннях, що перешкоджають точній оцінці попиту та прийняттю ефективних управлінських рішень [8].

Споживча логістика є важливим аспектом управління роздрібними мережами, оскільки вона фокусується на задоволенні потреб кінцевих споживачів шляхом оптимізації процесів доставки та розподілу товарів. В останніх дослідженнях все більше уваги приділяється ролі споживчої логістики у формуванні попиту. Управління досвідом споживачів через ефективну логістику може значно вплинути на поведінку споживачів та їхній попит на товари [8].

Інші дослідження [11, 12] демонструють, що інтеграція сучасних технологій в процеси споживчої логістики, зокрема системи управління запасами та оптимізацію маршрутів доставки, може значно покращити точність прогнозування попиту та задовольнити змінні потреби споживачів в умовах динамічного ринку.

Дослідження також підкреслюють важливість врахування відстані, яку готові долати споживачі до місця роздрібною торгівлі [5, 6]. Цей аспект є критично важливим для моделювання споживчого попиту, оскільки він безпосередньо впливає на рішення споживачів щодо вибору конкретного торговельного об'єкта. Моделі, що враховують споживчу логістику, можуть надавати точніші прогнози попиту та допомагати роздрібним мережам ефективніше управляти своїми ресурсами та задовольняти потреби споживачів [1–4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що існує значний потенціал для використання математичних моделей для оцінки попиту в роздрібних мережах. Особлива увага повинна бути приділена споживчій логістиці та її ролі у формуванні попиту. Подальші дослідження повинні зосередитися на інтеграції різних параметрів попиту та врахуванні динамічних змін у поведінці споживачів та конкурентному середовищі для підвищення точності оцінок та ефективності управління товаропотоками.

### Мета статті

Метою цього дослідження є розробка та впровадження математичних моделей для оцінки еластичності параметрів попиту в роздрібній мережі, орієнтованій на логістику, керовану споживачем. Це дозволить підвищити ефективність управління попитом та оптимізувати маркетингові стратегії.

### Виклад основного матеріалу

Для оцінки еластичності параметрів попиту в роздрібній мережі важливо розробити комплекс математичних моделей, які враховують основні фактори, що впливають на попит. Моделі повинні включати аналіз кількості учасників роздрібною мережі, середньої кількості кінцевих споживачів та відношення вартості вантажопотоку в роздрібній мережі до середньої вартості вантажопотоку в інших мережах. Ці фактори є критично важливими для розуміння того, як зміни в структурі та ціновій політиці роздрібною мережі можуть впливати на поведінку споживачів.

Дані для моделювання було зібрано з роздрібних мереж різного розміру і включали такі параметри, як кількість учасників роздрібною мережі, обсяг попиту, кількість кінцевих споживачів, пропонована ціна та середня ціна вантажопотоку в інших мережах. Ці дані представлені в табл. 1, де наведені вихідні

значення для отримання закономірності змінювання попиту на вантажопотік у транспортних системах міст.

Таблиця 1  
Вихідні дані для отримання закономірності змінювання попиту на вантажопотік у транспортних системах міст

Номер дослідження	Кількість учасників роздрібною мережі, од.	Обсяг попиту в схемі просування матеріалопотоку, кг/день	Кількість кінцевих споживачів, осіб/день	Пропонована ціна в роздрібній мережі, грн/кг	Середня ціна матеріалопотоку в інших роздрібних мережах, грн/кг	Відношення вартості матеріалопотоку в роздрібній мережі до середньої вартості матеріалопотоку в інших роздрібних мережах
1	56	123 637	431 428	34	41,2	0,825
2	56	122 055	425 909	35	41,39	0,846
...	...	...	...	...	...	...
71	5	4590	33 505	43,8	43	1,019

Для оцінки змін попиту була розроблена регресійна модель, яка описує залежність середнього обсягу попиту учасника роздрібною мережі від кількості учасників, середньої кількості кінцевих споживачів та відношення вартості вантажопотоку в роздрібній мережі до середньої вартості вантажопотоку в інших мережах. Модель має вигляд:

$$Q = a + bN + cC + dR, \quad (1)$$

де  $Q$  – середній обсяг попиту;

$N$  – кількість учасників роздрібною мережі;

$C$  – середня кількість кінцевих споживачів;

$R$  – відношення вартості вантажопотоку в роздрібній мережі до середньої вартості вантажопотоку в інших мережах.

Результати регресійного аналізу показали, що всі три фактори мають значний вплив на середній обсяг попиту. Зокрема, зі збільшенням кількості учасників роздрібною мережі середній обсяг попиту зростає. Аналогічно, зі збільшенням середньої кількості кінцевих споживачів також збільшується середній обсяг попиту. Відношення вартості вантажопотоку в роздрібній мережі до середньої вартості вантажопотоку в інших мережах має негативний вплив на середній обсяг попиту, тобто зі зменшенням цього показника середній обсяг попиту зростає.

Змінювання середнього обсягу попиту учасника роздрібною мережі залежно від кількості учасників цієї мережі, середньої кількості кінцевих споживачів

та відношення вартості «споживчого кошика» у роздрібного торговця, що розглядається, та середньої вартості «споживчого кошика» серед інших роздрібних мереж можна описати за допомогою такої моделі:

$$Q'_{mzj} = 1600N_{мазj}^{1,05} - 16834 \sqrt{\frac{\theta_{1,z\omega j}}{\theta_{1,z}}} + 0,5 \sqrt{N_{z\omega j}^{KC}}, \quad (2)$$

де  $N_{мазj}$  – кількість учасників роздрібної мережі, од.;  
 $N_{z\omega j}^{KC}$  – середня кількість кінцевих споживачів, осіб.

Модель доводить, що зі збільшенням кількості учасників роздрібної мережі збільшується середній обсяг попиту учасника роздрібної мережі. Зі зменшенням значення відношення вартості вантажопотоку роздрібних мереж до середньої вартості вантажопотоку інших роздрібних мереж збільшується середній обсяг попиту учасника роздрібної мережі, та навпаки.

Модель змінювання середньої кількості кінцевих

споживачів у роздрібній мережі можна описати за допомогою наступної моделі:

$$N_{z\omega j}^{KC} = 72199,6 \cdot \sqrt{N_{мазj}} - 155795 \cdot \sqrt{\frac{\theta_{1,z\omega j}}{\theta_{1,z}}}. \quad (3)$$

Змінювання середньої відстані, що згодні долати споживачі, впливає на потік мешканців до роздрібного торговця та має вигляд:

$$\bar{l}_{z\omega j} = \frac{1}{0,1643 \cdot \sqrt{\frac{\theta_{1,z\omega j}}{\theta_{1,z}}} \cdot N_{мазj}}. \quad (4)$$

Для перевірки адекватності моделі були проведені статистичні оцінки. Коефіцієнти регресії для кожного з факторів були оцінені за допомогою критерію Стюдента. Результати розрахунків статистичного оцінювання наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати оцінювання моделей

Показник	Модель (2)	Модель (3)	Модель (4)
Критерій Стюдента:			
– табличний;	1,97	1,97	1,97
– розрахунковий для кількості учасників роздрібної мережі в схемі просування вантажопотоку;	82,24	52,3	–
– розрахунковий для відношення вартості вантажопотоку в роздрібній мережі до середньої вартості вантажопотоку в інших роздрібних мережах;	–6,13	–21,76	18,24
– розрахунковий для середньої кількості кінцевих споживачів, що відвідують учасників роздрібної мережі.	7,123	–	–
Критерій Фішера:			
– табличний;	3,88	3,88	3,88
– розрахунковий.	5797,5	5797,5	332,77
Коефіцієнт кореляції	0,997	0,997	0,947
Коефіцієнт детермінації	0,995	0,995	0,897
Середня помилка апроксимації, %	2,3	2,3	8,61

Запропоновані математичні моделі мають широку можливість застосування у сфері логістики, керованої споживачем. Вони дають змогу роздрібним мережам більш точно прогнозувати попит, враховуючи динамічні зміни на ринку та поведінку споживачів. Моделі можна використовувати для оптимізації товарних запасів, планування поставок та управління цінами, що сприяє підвищенню ефективності логістичних процесів та задоволенню потреб споживачів.

### Висновки

Розробка математичних моделей для оцінки еластичності параметрів попиту в роздрібній мережі дозволяє більш точно оцінювати вплив різних факто-

рів на попит та приймати ефективні управлінські рішення. Унікальність розроблених моделей полягає у їх здатності враховувати взаємозв'язок між кількістю учасників роздрібної мережі, кількістю кінцевих споживачів та ціною товарів. Моделі дають змогу адаптуватися до змінних умов ринку, що є важливим для логістики, керованої споживачем, де швидкість реакції та точність прогнозів мають вирішальне значення.

Отримані моделі показали свою ефективність у прогнозуванні попиту в роздрібних мережах. Висока точність та надійність моделей підтверджена статистичними оцінками, що робить їх корисними для практичного застосування у роздрібній торгівлі. На основі отриманих результатів можна рекомендувати

використання цих моделей для оптимізації управління попитом та підвищення ефективності маркетингових стратегій у роздрібних мережах.

Подальші дослідження можуть зосередитися на розробці моделей, що враховують додаткові фактори, як-от сезонність, зміни у конкурентному середовищі та вплив нових технологій на споживчу поведінку. Регулярний моніторинг і оновлення моделей відповідно до нових даних також є важливим аспектом для забезпечення їхньої актуальності та точності.

### Література

- Galkin, A., Yemchenko, I., Lysa, S., Tarasiuk, M., Chortok, Y., & Khvesyk, Y. (2022). *EXPLORING THE Relationships between demand attitudes and the supply amount in consumer-driven supply chain for FMCG*. *Acta Logistica*, 9(1), 1-12.
- Galkin, A., Obolentseva, L., Balandina, I., Kush, E., Karpenko, V., & Bajdor, P. (2019). *Last-mile delivery for consumer driven logistics*. *Transportation Research Procedia*, 39, 74-83.
- Andrii, G., Popova, Y., Bodnaruk, O., Zaika, Y., Chuprina, E., Denys, S., & Oleg, K. (2019). *Attractiveness modeling of retail on emotional fatigue of consumers*. *South East European Journal of Economics and Business*, 14(2), 106-116.
- Galkin, A., Zaytsev, V., Shyshkin, V., Obolentseva, L., & Popova, Y. (2021). *Patterns of the Distribution of the Demand of End-Consumers among Retailers in the Zone of their Residence*. *Foundations of Management*, 13(1), 145-158.
- Wang, X., Wong, Y. D., Chen, T., & Yuen, K. F. (2023). *Consumer logistics in contemporary shopping: a synthesised review*. *Transport Reviews*, 43(3), 502-532.
- Monnot, E., Reniou, F., & Rouquet, A. (2023, July). *Consumer logistics: a systematic literature review*. In *Supply Chain Forum: An International Journal* (Vol. 24, No. 3, pp. 288-306). Taylor & Francis.
- Armstrong G., Kotler P., Harker M., & Brennan R. *Marketing: An Introduction* // Pearson. – 2015. – Regime of access: <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Armstrong-Marketing-An-Introduction-13th-Edition/PGM332789.html>, free (date of the application: 15.07.2024).
- Hamilton R. *Consumer Behavior: How Humans Think, Feel, and Act in the Marketplace* // Sage Publications. – 2018. – Regime of access: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/consumer-behavior/book245856>, free (date of the application: 15.07.2024).
- Kumar V., & Reinartz W. *Customer Relationship Management: Concept, Strategy, and Tools* // Springer. – 2016. – DOI: 10.1007/978-3-662-47816-8, Regime of access: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-47816-8>, free (date of the application: 15.07.2024).
- Hwang J., Kandampully J., & Kim S. *Managing the Experience of Co-creation in Service Innovation: A Conceptual Framework* // *Journal of Service Management*. – 2019. – Vol. 30, №2. – P. 149-167. – Regime of access: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JOSM-06-2018-0177/full/html>, free (date of the application: 15.07.2024).
- Lim, S. F. W., Jin, X., & Srail, J. S. (2018). *Consumer-driven e-commerce: A literature review, design framework, and research agenda on last-mile logistics models*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(3), 308-332.
- Galkin, A., Schlosser, T., Khvesyk, Y., Kuzkin, O., Klapkiv, Y., & Balint, G. (2022). *Development of generalized distribution utility index in consumer-driven logistics*. *Energies*, 15(3), 872.

### References

- Galkin, A., Yemchenko, I., Lysa, S., Tarasiuk, M., Chortok, Y., & Khvesyk, Y. (2022). *EXPLORING THE Relationships between demand attitudes and the supply amount in consumer-driven supply chain for FMCG*. *Acta Logistica*, 9(1), 1-12.
  - Galkin, A., Obolentseva, L., Balandina, I., Kush, E., Karpenko, V., & Bajdor, P. (2019). *Last-mile delivery for consumer driven logistics*. *Transportation Research Procedia*, 39, 74-83.
  - Andrii, G., Popova, Y., Bodnaruk, O., Zaika, Y., Chuprina, E., Denys, S., & Oleg, K. (2019). *Attractiveness modeling of retail on emotional fatigue of consumers*. *South East European Journal of Economics and Business*, 14(2), 106-116.
  - Galkin, A., Zaytsev, V., Shyshkin, V., Obolentseva, L., & Popova, Y. (2021). *Patterns of the Distribution of the Demand of End-Consumers among Retailers in the Zone of their Residence*. *Foundations of Management*, 13(1), 145-158.
  - Wang, X., Wong, Y. D., Chen, T., & Yuen, K. F. (2023). *Consumer logistics in contemporary shopping: a synthesised review*. *Transport Reviews*, 43(3), 502-532.
  - Monnot, E., Reniou, F., & Rouquet, A. (2023, July). *Consumer logistics: a systematic literature review*. In *Supply Chain Forum: An International Journal* (Vol. 24, No. 3, pp. 288-306). Taylor & Francis.
  - Armstrong G., Kotler P., Harker M., & Brennan R. *Marketing: An Introduction* // Pearson. – 2015. – Regime of access: <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Armstrong-Marketing-An-Introduction-13th-Edition/PGM332789.html>, free (date of the application: 15.07.2024).
  - Hamilton R. *Consumer Behavior: How Humans Think, Feel, and Act in the Marketplace* // Sage Publications. – 2018. – Regime of access: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/consumer-behavior/book245856>, free (date of the application: 15.07.2024).
  - Kumar V., & Reinartz W. *Customer Relationship Management: Concept, Strategy, and Tools* // Springer. – 2016. – DOI: 10.1007/978-3-662-47816-8, Regime of access: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-47816-8>, free (date of the application: 15.07.2024).
  - Hwang J., Kandampully J., & Kim S. *Managing the Experience of Co-creation in Service Innovation: A Conceptual Framework* // *Journal of Service Management*. – 2019. – Vol. 30, №2. – P. 149-167. – Regime of access: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JOSM-06-2018-0177/full/html>, free (date of the application: 15.07.2024).
  - Lim, S. F. W., Jin, X., & Srail, J. S. (2018). *Consumer-driven e-commerce: A literature review, design framework, and research agenda on last-mile logistics models*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(3), 308-332.
  - Galkin, A., Schlosser, T., Khvesyk, Y., Kuzkin, O., Klapkiv, Y., & Balint, G. (2022). *Development of generalized distribution utility index in consumer-driven logistics*. *Energies*, 15(3), 872.
- Рецензент:** д-р техн. наук, доц. Д.П. Понкратов, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

**Автор:** ГАЛКІН Андрій Сергійович  
доктор технічних наук, професор, професор кафедри  
транспортних систем і логістики  
Харківський національний університет міського  
господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail – [andriy.galkin@kname.edu.ua](mailto:andriy.galkin@kname.edu.ua)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3505-6170>

**Автор:** САМЧУК Ганна Олександрівна  
кандидат технічних наук, доцент кафедри  
транспортних систем і логістики  
Харківський національний університет міського  
господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail – [ganna.samchuk@kname.edu.ua](mailto:ganna.samchuk@kname.edu.ua)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9890-6374>

**Автор:** ДАВІДІЧ Юрій Олександрович  
доктор технічних наук, професор, професор кафедри  
транспортних систем і логістики  
Харківський національний університет міського  
господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail – [yuriy.davidich@kname.edu.ua](mailto:yuriy.davidich@kname.edu.ua)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4136-4084>

## DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS FOR EVALUATING DEMAND PARAMETER ELASTICITY IN RETAIL NETWORKS UNDER CONSUMER-DRIVEN LOGISTICS

A. Galkin, Yu. Davidich, H. Samchuk

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

*The retail market is characterised by its dynamic nature, requiring sophisticated models for accurately assessing demand elasticity, especially within consumer-driven logistics. This study aims to develop and validate comprehensive mathematical models to evaluate demand parameters within retail networks. The study focuses on the main factors that significantly influence demand, including the number of participants within a retail network, the average number of end consumers, and the ratio of the freight flow cost in a particular retail network compared to the average price in other networks.*

*The authors conducted extensive data collection across various retail networks, capturing essential parameters such as demand volume, the number of participants, consumer numbers, and pricing strategies. The analysis led to the development of regression models that provide valuable insights into demand dynamics. The results indicate that increasing network participants and the average number of end consumers positively correlates with higher demand volumes. On the other hand, a higher ratio of freight flow cost within a retail network negatively impacts demand, highlighting consumers' sensitivity to price changes. This inverse relationship between cost and demand underlines the importance of pricing strategies in influencing consumer behaviour.*

*The statistical validation of the developed models demonstrated their reliability, with high correlation coefficients and low approximation errors, confirming their high predictive capabilities. These models are not only theoretically sound but also offer substantial practical applications. Retail networks can leverage these models to optimise their marketing strategies, plan their product assortments more effectively, and manage inventory more precisely. By integrating multiple factors influencing demand, this study provides a more nuanced understanding of consumer behaviour, enabling retail networks to make well-informed, data-driven decisions.*

*The unique contribution of this research lies in its holistic approach to demand modelling, where multiple variables are considered in conjunction rather than in isolation. This integration allows for a deeper comprehension of how different elements interact to influence consumer demand. Moreover, the models developed in this study are versatile and can be adapted to various retail settings, offering a valuable tool for academic researchers and industry practitioners.*

*Future research could extend these models by incorporating additional variables such as seasonality, shifts in consumer preferences, and the impact of technological advancements on retail logistics. Doing so makes it possible to continuously refine the models to maintain relevance and accuracy in an ever-changing market landscape. This ongoing evolution of demand modelling is crucial for retail networks aiming to stay competitive and responsive to consumer needs in a highly dynamic environment. The findings from this study underscore the importance of a data-driven approach in retail logistics, where precise modelling and analysis can lead to significant improvements in operational efficiency and market responsiveness.*

**Keywords:** demand elasticity, retail network, logistics, mathematical modelling, demand parameters, consumer behaviour.