

Птиця Н.В.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна***ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

У статті досліджено сучасні особливості функціонування логістичних систем доставки вантажів в умовах зростання складності потокових процесів, розвитку електронної комерції та підвищення вимог до рівня сервісу. Встановлено, що збільшення обсягів партійних поставок зумовлює зростання кількості операцій, ускладнення маршрутних мереж та підвищення навантаження на логістичну інфраструктуру. На основі аналізу сучасних досліджень визначено, що значна частка логістичних витрат формується на етапі останньої милі та в точках взаємодії елементів логістичного ланцюга, де виникають втрати часу та ресурсів. Метою дослідження є визначення впливу параметрів логістичної системи на витрати доставки вантажів та розробка практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності її функціонування. У роботі використано методи математичного моделювання та регресійного аналізу для оцінки впливу ключових факторів, зокрема щільності торговельної мережі, радіусу обслуговування, ринкової частки, обсягів товарообігу та коефіцієнта використання вантажності транспортних засобів.

Отримані значення параметрів показують характер впливу та свідчать про наявність раціональних областей їх значень, у межах яких досягається мінімізація логістичних витрат. Доведено існування оптимальних співвідношень між кількістю пунктів на маршруті та радіусом половинного попиту. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для підвищення ефективності планування логістичних систем, оптимізації маршрутів доставки та зниження витрат на етапі останньої милі. Результати дослідження можуть бути застосовані підприємствами роздрібною торгівлі та логістичними операторами в умовах невизначеності та обмежених ресурсів.

Ключові слова: логістична система, логістичні витрати, остання миля; доставка вантажів, оптимізація, логістична мережа, ефективність, система доставки.

ВСТУП

Сучасні логістичні системи, зокрема у сфері дистрибуції та доставки продукції, перебувають у стані трансформації під постійним впливом зовнішнього середовища та цифровізації. Цьому сприяє зростання електронної комерції та підвищення вимог до швидкості та надійності обслуговування. У цих умовах особливої актуальності набуває проблема підвищення ефективності операційних процесів у логістичних системах, що безпосередньо визначають продуктивність транспортно-складських комплексів.

Зростання обсягів дрібнопартійних відправлень, характерне для B2B та B2C-сегмента, призводить до ускладнення руху потоків, збільшення кількості операцій обробки та підвищення навантаження на інфраструктуру розподілу. Згідно [1–2], глобальні витрати на логістичні операції перевищують 300 млрд євро на рік і мають тенденцію до зростання через підвищення складності логістичних систем. Це свідчить про значний потенціал підвищення ефективності саме на рівні операційної організації процесів.

Водночас, ключовою проблемою залишається наявність так званих «вузьких місць» у точках взаємодії елементів логістичного ланцюга (handover points), де виникають затримки, втрати часу та інформаційні розриви. За сучасними оцінками, до 13–19% логістичних витрат формуються саме через неефективність таких операцій [1–2]. Це підтверджує необхідність системного перегляду підходів до організації процесів у логістичних системах.

Додатковим фактором, що загострює проблему, є функціонування транспортно-логістичних систем в умовах нестабільності, зокрема в Україні, де воєнні дії суттєво впливають на інфраструктуру, маршрути та доступність ресурсів. У таких умовах особливої ваги набувають питання адаптивності, гнучкості та ресурсної ефективності логістичних процесів. Таким чином, виникає необхідність у формуванні ефективних підходів до організації та управління операційними процесами логістичних систем, які забезпечують підвищення продуктивності, зниження витрат і стійкість функціонування в умовах високої невизначеності [2, 3].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Теоретичні та прикладні аспекти організації логістичних процесів широко представлені у працях провідних науковців. Значний внесок у розвиток концепцій управління ланцюгами постачання зробили Martin Christopher, Donald Bowersox та David Closs, які обґрунтували необхідність інтегрованого підходу до управління матеріальними потоками.

Сучасні дослідження фокусуються на підвищенні операційної ефективності логістичних систем через [3–6]:

- оптимізацію складських процесів;
- цифрове моделювання та використання цифрових двійників;
- впровадження аналітичних інструментів управління;
- автоматизацію та роботизацію окремих операцій.

Використання цифрових моделей логістичних систем (digital twin) дозволяє підвищити ефективність складських операцій на 20–25% ще до фактичного впровадження змін [7]. Це свідчить про значний потенціал аналітичних підходів до оптимізації.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із підвищенням продуктивності операцій обробки вантажів. За даними сучасних досліджень, якісне планування та автоматизація окремих процесів може збільшити продуктивність у кілька разів, однак її ефективність залежить від структури вантажопотоків та рівня їх стандартизації [7, 8].

Водночас, аналіз літератури показує, що існуючі дослідження переважно розглядають окремі аспекти оптимізації, тоді як питання комплексного удосконалення операційних процесів у логістичних системах, що враховують розширення масштабів мережі, залишаються недостатньо розкритими. Що є особливо важливим в умовах нестабільності та обмежених ресурсів.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є визначення впливу параметрів логістичної системи і розробка практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності її функціонування на логістичні витрати, шляхом удосконалення організації операційних процесів доставки вантажів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Функціонування логістичних систем у сучасних умовах характеризується зростанням складності, що обумовлено підвищенням варіативності попиту, скороченням життєвих циклів продукції та необхідністю забезпечення високого рівня сервісу. У таких умовах ефективність систем визначається не лише параметрами транспортних чи складських операцій окремо, а рівнем їх інтеграції та узгодженості.

Ключовою характеристикою сучасних логістичних систем є наявність значної кількості точок взаємодії між елементами (логістичних вузлів), де відбувається передача матеріальних потоків. Саме ці точки часто є джерелом неефективності через затримки, асиметрію інформації та неузгодженість дій учасників процесу. Встановлено, що значна частка втрат у логістичних системах виникає саме на цих етапах, що потребує їх системного аналізу та оптимізації. Важливим напрямом підвищення ефективності є застосування процесного підходу, який передбачає розгляд логістичної системи як сукупності взаємопов'язаних процесів. Це дозволяє виявити вузькі місця, визначити критичні операції та оптимізувати потоки ресурсів. Одним із ефективних інструментів є використання цифрового моделювання, що дозволяє створювати віртуальні копії логістичних систем і тестувати різні сценарії їх функціонування. Це забезпечує можливість оцінки впливу змін без ризику для реальної системи та дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Окрему увагу слід приділити питанням управління ресурсами. Сучасні логістичні системи функціонують в умовах дефіциту трудових ресурсів та високої вартості їх залучення. Це обумовлює необхідність підвищення продуктивності праці шляхом оптимізації операцій та впровадження гнучких форм організації роботи. Важливим аспектом є також забезпечення адаптивності логістичних систем. Умови невизначеності вимагають здатності систем швидко реагувати на зміни зовнішнього середовища, що досягається шляхом гнучкого планування, диверсифікації ресурсів та використання сценарного підходу до управління. Підвищення ефективності логістичних систем потребує комплексного підходу, що поєднує організаційні, технологічні та аналітичні інструменти.

Суттєвим резервом підвищення ефективності є також оптимізація просторової організації логістичних об'єктів. Раціональне розміщення ресурсів і потоків дозволяє скоротити непродуктивні переміщення, що безпосередньо впливає на продуктивність системи. Як показують дослідження [9], неефективне планування логістичної мережі призводить до зростання операційних витрат і зниження швидкості обробки вантажів. Збільшення кількості логістичних об'єктів, швидкості руху товарів через увесь ланцюг постачань та зміна торгівельних форматів, призводить до необхідності застосування системного підходу до організації процесу доставки вантажів на етапі останньої милі.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зростання частоти постачань та зменшення розмірів партій вантажів, особливо значення набуває ефективність організації доставки продуктових вантажів на етапі останньої милі. Вказаний

етап є найбільш витратним елементом логістичного ланцюга, частка якого, за сучасними оцінками, може досягати 40–60 % загальних логістичних витрат.

Результати проведених експериментальних досліджень в [10] підтверджують існування екстремуму функції частки логістичних витрат на доставку партійних вантажів залежно від параметрів системи доставки. Отримані регресійні моделі характеризуються достатнім рівнем адекватності та статистичної значущості, що дозволяє використовувати їх як інструмент для оптимізації.

Встановлено, що ключовими факторами, які визначають ефективність функціонування системи доставки продуктових вантажів, є:

- щільність дислокації торгових об'єктів;
- середній радіус обслуговування;
- ринкова доля мережі;
- вартість товарообігу у регіоні;
- коефіцієнт статичного використання вантажності транспортних засобів.

Прийнявши діапазони варіювання аналізованих факторів на трьох рівнях мінімальному, середньому і максимальному (табл. 1), з використанням математичної моделі [9, 10], проведені розрахунки частки логістичних витрат на доставку вантажів для трьох найпоширеніших форматів торгових об'єктів.

Таблиця 1 – Вихідні значення параметрів логістичної системи доставки вантажів

Фактори	Рівні варіювання		
	Мінімальний	Середній	Максимальний
Щільність дислокації торгових об'єктів, од/км ²	0,01	11,735	25,398
Ринкова доля мережі, %	1	25	50
Вартість товарообігу у регіоні, тис. грн.	10382,7	12854,4	15326,2
Середній радіус обслуговування, км	3,569	10,01	16,434
Коефіцієнт статичного використання вантажності	0,4	0,7	1

Аналіз отриманих залежностей [10] показав, що вплив більшості факторів має монотонний, але нелінійний характер. Зокрема, зі збільшенням щільності торгових об'єктів, у які необхідно робити доставку товарів, спостерігається зростання частки логістичних витрат. Це пояснюється ускладненням маршрутної мережі, збільшенням кількості зупинок та зростанням операційних витрат. Подібні висновки узгоджуються з результатами досліджень у сфері логістики останньої милі (last-mile logistics), де підкреслюється, що фрагментація попиту є ключовим драйвером зростання витрат.

Збільшення середнього радіусу обслуговування призводить до зростання транспортної складової витрат через збільшення довжини маршрутів та часу доставки. При цьому виявлено наявність порогових значень, після перевищення яких витрати зростають прискореними темпами, що свідчить про нелінійний характер залежності.

Водночас зростання ринкової долі мережі сприяє зниженню логістичних витрат за рахунок ефекту масштабу, що проявляється у більш ефективному використанні транспортних засобів, консолідації вантажопотоків та оптимізації маршрутів доставки. Це відповідає сучасним концепціям економії на масштабі в логістиці.

З позиції підвищення ефективності операційних процесів доставки вантажів, особливу увагу слід приділити коефіцієнту статичного використання вантажності, який виступає одним із найбільш керованих параметрів системи. Результати дослідження показують, що підвищення рівня завантаження транспортних засобів у діапазоні 0,7–0,85 дозволяє суттєво знизити логістичні витрати на доставку. Таким чином, оптимізація процесів комплектування та консолідації вантажів є важливим напрямом підвищення ефективності.

Встановлено залежність зміни логістичних витрат на доставку вантажів від кількості пунктів на маршруті та радіусу половинного попиту для основних торгових форматів «Гіпермаркет», «Супермаркет» та «Магазин біля дому» (рис. 1). Аналіз закономірностей свідчить про наявні співвідношення кількості пунктів на маршруті розвезення та радіусу половинного попиту, при котрих частка логістичних витрат на доставку є мінімальною.

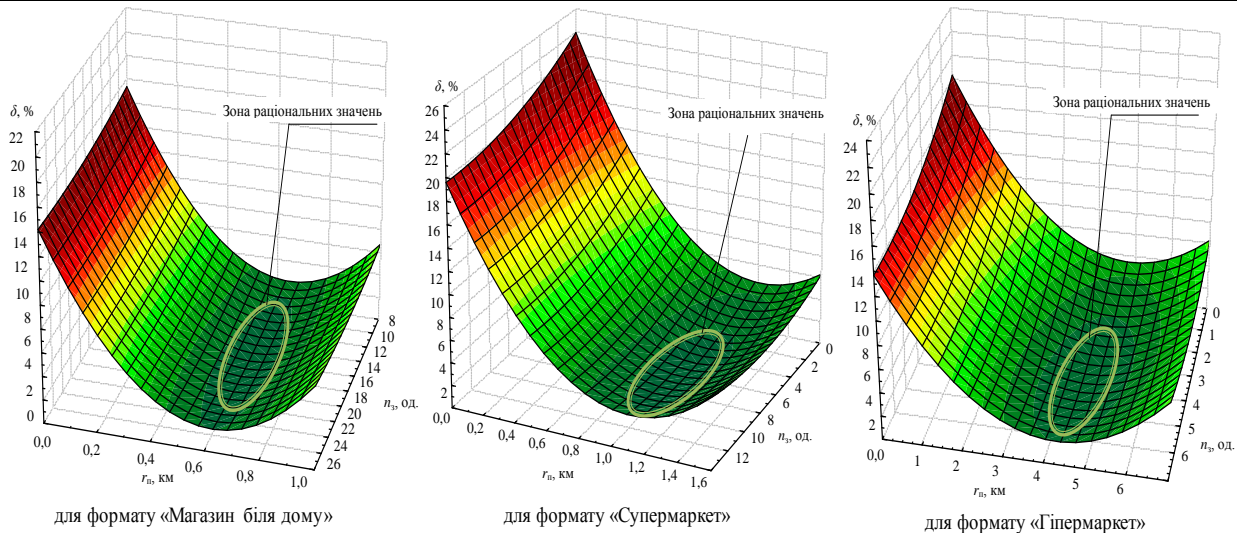


Рисунок 1 – Залежність зміни логістичних витрат на доставку вантажів (δ , %) від кількості пунктів на маршруті (n , од.) та радіусу половинного попиту (r_n)

Отримані області раціональних значень для торгових об'єктів різних форматів свідчать про наявний вплив форматів на логістичні витрати по доставці вантажів на етапі останньої милі, пояснюється різницею у об'ємах реалізації. Тому це варто враховувати при плануванні процесу доставки.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що ефективність функціонування логістичних систем у сучасних умовах визначається рівнем організації операційних процесів та ступенем їх інтеграції. Сформульовано, що найбільший ефект досягається при комплексному застосуванні зазначених підходів, що дозволяє не лише знизити витрати, але й підвищити стійкість логістичних систем в умовах невизначеності. Встановлено, що існує область раціональних значень логістичних параметрів для торгової мережі, що впливають на логістичні витрати доставки вантажів на етапі останньої милі. Отримані результати мають практичне значення та можуть бути використані для підвищення ефективності функціонування логістичних систем у сучасних умовах, зокрема в контексті планування та забезпечення ефективного процесу доставки вантажів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Сумець О. М. Транспорт - найбільш витратна складова логістичної діяльності [Електронний ресурс] / О. М. Сумець. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2013. Вип. 43. С. 94–99. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2013_43_19.
2. Three tech-based innovations have the potential to reduce waste at handover points along the logistics chain. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/logistics/our-insights/digitizing-mid-and-last-mile-logistics-handovers-to-reduce-waste?>
3. Германюк Ю.М., Паленик І. О. (2024). Дослідження логістичних витрат при перевезенні вантажів аграрної групи автомобільним і залізничним видами транспорту. Транспортні системи та технології перевезень, (27), 71–82. <https://doi.org/10.15802/tstt2024/307370>.
4. Самодай В., Донський М., Гладун М. (2023). Оптимізація управління логістичними витратами в діяльності підприємств. Економіка та суспільство, (55). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-34>.
5. Птиця Н.В., Мельник О.С., Мельник О.С. Застосування принципів логістичного управління при організації діяльності транспортного підприємства. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ. 2023. №1 (20) С. 198-205. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v1i20>.
6. Птиця Н.В., Макарічев О.В., Ковцур К.Г. Ефективна організація розподілу вантажопотоків у межах міста та фактори, що на неї впливають. Вісник Вінницького політехнічного інституту. Науковий журнал. – Вінниця: ВНТУ. 2024. №2 (173) С. 94-100. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-173-2-94-100>.

7. «Цифрові двійники» – новий рівень розвитку ланцюгів постачання. URL: <https://logist.fm/news/cifrovi-dviyniki-noviy-riven-rozvitku-lancyugiv-postachannya>.
8. K. Kovtsur, N. Ptytsia, Ye. Liubyi, V. Fedorov An approach to determine vehicle idle time at unloading points. AIP Conference Pro-ceedings 2439, 020012-1–020012-11. <https://doi.org/10.1063/5.0068437>.
9. Natalia Ptytsia. City Retail Network Influence on Transportation Expenses. SHS Web of Conferences 67, 03011 (2019). NTI-UkrSURT 2019: Published online: 15 October 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196703011>.
10. Птиця Н.В. Формування процесу доставки дрібнопартійних вантажів у логістичній системі роздрібно торгівельної мережі: Дис ... канд. техн. наук: 05.22.01. / ХНАДУ: Харків, 2020. 185 с.

PREFERENCES

1. Sumets O. M. Transport - naibilsh vytratna skladova lohistrychnoi diialnosti [Elektronnyi resurs] / O. M. Sumets. Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti. 2013. Vyp. 43. S. 94–99. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2013_43_19.
2. Three tech-based innovations have the potential to reduce waste at handover points along the logistics chain. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/logistics/our-insights/digitizing-mid-and-last-mile-logistics-handovers-to-reduce-waste?>
3. Hermaniuk Yu.M., Palenyk I. O. (2024). Doslidzhennia lohistrychnykh vytrat pry perevezenni vantazhiv ahrarnoi hrupy avtomobilnym i zaliznychnym vydamy transportu. Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen, (27), 71–82. <https://doi.org/10.15802/tstt2024/307370>.
4. Samodai V., Donskyi M., Hladun M. (2023). Optyimizatsiia upravlinnia lohistrychnymy vytratamy v diialnosti pidpriemstv. Ekonomika ta suspilstvo, (55). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-34>.
5. Ptytsia N.V., Melnyk O.S., Melnyk O.S. Zastosuvannia pryntsyypiv lohistrychnoho upravlinnia pry orhanizatsii diialnosti transportnoho pidpriemstva. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. Naukovyi zhurnal. – Lutsk: LNTU. 2023. №1 (20) S. 198-205. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v1i20>.
6. Ptytsia N.V., Makarichev O.V., Kovtsur K.H. Efektyvna orhanizatsiia rozpodilu vantazhopotokiv u mezhakh mista ta factory, shcho na nei vplyvaiut. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. Naukovyi zhurnal. – Vinnytsia: VNTU. 2024. №2 (173) S. 94-100. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-173-2-94-100>.
7. «Tsyfrovi dviinyky» – novyi riven rozvytku lantsiuhiv postachannia. URL: <https://logist.fm/news/cifrovi-dviyniki-noviy-riven-rozvitku-lancyugiv-postachannya>.
8. K. Kovtsur, N. Ptytsia, Ye. Liubyi, V. Fedorov An approach to determine vehicle idle time at unloading points. AIP Conference Pro-ceedings 2439, 020012-1–020012-11. <https://doi.org/10.1063/5.0068437>.
9. Natalia Ptytsia. City Retail Network Influence on Transportation Expenses. SHS Web of Conferences 67, 03011 (2019). NTI-UkrSURT 2019: Published online: 15 October 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196703011>.
10. Ptytsia N.V. Formuvannia protsesu dostavky dribnopartinykh vantazhiv u lohistrychnii systemi rozdrubnoi torhivelnoi merezhi: Dys ... kand. tekhn. nauk: 05.22.01. / KhNADU: Kharkiv, 2020. 185 s.

Ptytsia N.V. Formation of an effective cargo delivery system based on optimization of logistics processes

The article examines the modern features of the functioning of logistics systems for cargo delivery in the context of increasing complexity of flow processes, the development of e-commerce and increased requirements for the level of service. It is established that the increase in the volume of batch deliveries leads to an increase in the number of operations, the complication of route networks and an increase in the load on the logistics infrastructure. Based on the analysis of modern research, it is determined that a significant share of logistics costs is formed at the last mile stage and at the points of interaction of elements of the logistics chain, where losses of time and resources occur. The aim of the study is to determine the impact of logistics system parameters on cargo delivery costs and develop practical recommendations for improving the efficiency of its operation. The work uses mathematical modeling and regression analysis methods to assess the impact of key factors, including the density of the retail network, service radius, market share, turnover volumes, and vehicle load factor.

The obtained parameter values show the nature of the influence and indicate the presence of rational areas of their values, within which the minimization of logistics costs is achieved. The existence of optimal relationships between the number of points on the route and the radius of half demand is proven. The practical significance of the results is that they can be used to improve the efficiency of logistics planning, optimize delivery routes, and reduce last-mile costs. The results of the study can be applied by retailers and logistics operators in conditions of uncertainty and limited resources.

Key words: logistics system, logistics costs, last mile; cargo delivery, optimization, logistics network, efficiency, delivery system.

ПТИЦЯ Наталія Василівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна, e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-4559-7651>

PTYTSIA Natalia, Ph. D. of Engineering, Associate Professor at the Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-4559-7651>

Дата надходження статті до видання: 11.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.04.2026

<https://doi.org/10.36910/he175s59>