

DOI 10.36074/grail-of-science.18.07.2025.021

МАТЕМАТИЧНІ ТА ЦИФРОВІ МОДЕЛІ Й МЕТОДИ В ОЦІНЦІ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ РІШЕНЬ

Кривов'язюк Ігор Володимирович

канд. екон. наук, професор,
професор кафедри підприємництва, торгівлі та логістики
Луцький національний технічний університет, Україна

Бурбан Олександр Вікторович

доктор філософії,
доцент кафедри підприємництва, торгівлі та логістики
Луцький національний технічний університет, Україна

Анотація. В статті узагальнено методичні підходи, які застосовуються в аналізі та оцінці ефективності, а також оптимізації логістичних рішень. Здійснено порівняльний аналіз використання математичних і цифрових моделей та методів в аналізі та оцінці ефективності логістичних рішень підприємств. Проаналізовано методи оптимізації логістичних процесів і рішень підприємств. Визначено сучасні напрямки оптимізації логістичних процесів і рішень за результатами аналізу та оцінки використання математичних і цифрових моделей та методів.

Ключові слова: математичні моделі; цифрові технології; логістичні процеси; логістичне рішення; підприємство.

Постановка проблеми. У сучасних умовах стрімкої цифровізації господарських процесів усе більшого значення набуває здатність підприємств оперативно приймати обґрунтовані логістичні рішення, що забезпечують зниження витрат, підвищення швидкості обробки замовлень, гнучкість поставок і надійність ланцюгів постачання. В цьому контексті математичні моделі виступають потужним інструментом формалізації складних логістичних задач, дозволяючи враховувати велику кількість змінних, обмежень та варіантів рішень. Водночас цифрові методи, що базуються на сучасних інформаційних технологіях, значно підвищують точність і швидкість оцінювання ефективності логістичних рішень, сприяють інтеграції логістики з іншими управлінськими функціями підприємства. Використання таких підходів дозволяє не лише адекватно відображати реальні бізнес-процеси, а й виявляти слабкі місця у логістичних системах, прогнозувати наслідки управлінських дій та формувати оптимальні сценарії розвитку. З огляду на динамічність ринкового середовища, зростаючу складність логістичних мереж і потребу в сталому розвитку, запровадження математичних і цифрових методів аналізу й оптимізації логістики стає ключовою умовою досягнення стратегічної ефективності підприємств.

Аналіз досліджень та публікацій. Дослідженню методичних засад аналізу та оцінки ефективності логістичних рішень підприємства присвячено численні наукові публікації українських і іноземних учених. Зокрема, Величко Я. І. та Гетьман О. О. досліджують процес прийняття управлінських рішень при виборі логістичної стратегії підприємства. Аналізують різні стратегічні підходи та критерії оцінки їх ефективності в контексті транспортного комплексу [1]. Yu M.-M. та Rakshit I. застосували Data Envelopment Analysis при здійсненні оцінки логістичної ефективності на основі індексу LPI [2]. Çalık A., Erdebilli B. та Özdemir Y. S. запропонували комплексний підхід до оцінки з урахуванням використання гібридних MCDM-методів застосовуючи Borda count для агрегування результатів [3]. Складність у реалізації такого підходу полягає у необхідності агрегування великого обсягу даних. Karbassi Yazdi A. та ін. для підвищення стійкості ланцюгів постачання в умовах невизначеності реалізують багатоатрибутивний MCDM підхід для вибору транспортних провайдерів [4]. Водночас, такий підхід потребує точного визначення критеріїв та їх ваги. Suvogova I. M. та ін. для оцінки ефективності логістичних процесів на підприємствах рекомендують застосовувати DEA, ABC-аналіз та аналіз і контроль витрат [5]. Проте, під час зазначеного підходу можуть не враховуватись зовнішні фактори, що впливають на логістику. Kotlars A. та Skribans V. застосовують гібридну модель прийняття рішень для вибору 3PL провайдерів, яка охоплює кількісні та якісні критерії оцінки [6], але має обмежене застосування для малих підприємств, що не володіють достатніми ресурсами для її реалізації. Liu H. та ін. реалізували комплексний підхід до оцінювання сталості та ефективності логістичних систем шляхом інтеграції VIKOR та інших MCDM методів для оцінки інтелектуальних логістичних систем [7]. Водночас, це потребує великого обсягу даних та складних обчислень. Le T. V. та Fan R. для підвищення прозорості та ефективності логістичних операцій в процесі моделювання логістичних процесів у реальному часі пропонують застосовувати цифрові двійники [8]. В науковому доробку Schmid L., Roidl M. та Pauly M. з метою покращення прогнозування логістичних показників для прийняття рішень здійснено порівняння статистичних методів та машинного навчання [9], що досягнуто високою якістю даних та обчислювальних ресурсів. Натомість Özkanlısoy Ö. та Bulutlar F. пропонують застосування стандартизованого підходу до оцінки продуктивності ланцюгів постачання в умовах впровадження новітніх технологій шляхом використання моделі SCOR v13.0 [10]. Даній проблематиці присвячено й інші дослідження [11–13].

Аналізу методів оптимізації логістичних процесів і рішень підприємств присвячено наукові напрацювання таких учених як Кігель В. Р. [14], Івашко Л. М. [15], Краєвська А., Безсмертна О., Шварц І. [16], Мащак Н. М. [17], Мінакова С., Грігорі О. [18], Ольхова М. В. [19], Савицький Е. Е. [20], Завадська О.М. [21] та ін. [22–25]. Проте, розкриті в наукових працях методичні підходи найчастіше носили спеціалізований характер, без належного порівняльного аналізу з іншими моделями та методами.

Вище зазначене вказує на вагомість вивчення даної проблематики та практичний інтерес до її змісту, але разом з тим, частковий характер досліджень у даному напрямку, що потребує більш глибокого вивчення методичних



підходів, які застосовуються в аналізі та оцінці ефективності, а також оптимізації логістичних рішень.

Мета роботи. Подальший розвиток вивчення доцільності застосування математичних і цифрових моделей та методів в оцінці ефективності та оптимізації логістичних рішень підприємств.

Виклад основного матеріалу. Логістичне рішення слід трактувати як результат цілеспрямованого вибору дій у межах логістичної системи підприємства, який ґрунтується на аналізі матеріальних, інформаційних і фінансових потоків, врахуванні зовнішніх і внутрішніх умов функціонування та спрямований на досягнення оптимальних показників ефективності логістики.

Впровадження сучасних методів і систем підтримки прийняття рішень дає змогу керівникам і фахівцям з логістики підприємств ухвалювати більш обґрунтовані логістичні рішення, тоді як їх реалізація з поглибленим плануванням і моніторингом гарантує досягнення поставлених цілей та підвищує загальну адаптивність логістичної діяльності підприємства.

Результати аналізу методичних підходів до аналізу та оцінки ефективності логістичних рішень підприємства (таблиця 1) дозволили встановити, що у сучасних дослідженнях спостерігається активне використання широкого спектра методів: від класичних математичних моделей (DEA, MCDM) до новітніх цифрових технологій (цифрові двійники, машинне навчання). Це свідчить про багатопараметричність та високі вимоги до глибини аналізу логістичних рішень. Водночас, більшість підходів (Çalik et al., Kotlars et al., Liu et al.) об'єднують кілька методів для врахування фінансових, технологічних та екологічних факторів. Це дозволяє отримати більш збалансовану картину ефективності логістичних систем.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз використання математичних і цифрових моделей та методів в аналізі та оцінці ефективності логістичних рішень підприємств

Автори та час виходу праці	Реалізовані моделі та методи	Короткий опис	Переваги	Недоліки
Yu M. M., 2025	DEA з використанням спільних ваг	Оцінка ефективності логістики на глобальному рівні	Зменшує суб'єктивність оцінки	Не враховує якісні показники
Schmid L. та ін., 2025	Статистика та машинне навчання	Прогнозування логістичних показників	Підвищення точності прогнозів	Високі вимоги до якості даних
Suvorova I. та ін., 2024	DEA, ABC-аналіз	Оцінка ефективності логістичних процесів підприємств	Виявлення слабких місць	Ігнорує зовнішні чинники
Le T. V., Fan R., 2024	Цифрові двійники	Модельовання логістичних процесів у реальному часі	Підвищення прозорості	Висока вартість впровадження

Продовження таблиці 1

Автори та час виходу праці	Реалізовані моделі та методи	Короткий опис	Переваги	Недоліки
Величко Я.І., Гетьман О.О., 2023	ТТА	Оцінювання співвідношення зміни стану логістичної системи та зміни економічності логістичних витрат	Забезпечує вибір конкретної логістичної стратегії	Потребує великого обсягу даних
Çalik A. та ін., 2023	Гібридні MCDM-методи	Інтеграція кількох методів для оцінки логістики	Комплексність підходу	Складність застосування
Karbassi Yazdi A. та ін., 2023	Багатоатрибутивний MCDM	Вибір транспортних провайдерів під невизначеністю	Врахування ризиків	Високі вимоги до вихідних даних
Kotlars A. та ін., 2023	Гібридна модель прийняття рішень	Вибір 3PL провайдерів	Поєднання кількісних і якісних критеріїв	Складність реалізації для МСП
Liu Y. та ін., 2023	VIKOR та інші MCDM методи	Оцінка сталості інтелектуальних логістичних систем	Широке охоплення аспектів сталості	Високі обчислювальні вимоги
Özkanlısoy Ö., Bulutlar F., 2023	SCOR v13.0	Оцінка ланцюгів постачання з урахуванням новітніх технологій	Стандартизований підхід	Обмежена адаптивність

Джерело: побудовано на основі [1-10]

Аналіз змісту аналізованих математичних і цифрових моделей та методів демонструє, що цифровізація логістики і прогнозна аналітика стають обов'язковими інструментами оцінки рішень, особливо в умовах мінливості та нестабільності світових ринків. Серед їх сильних сторін слід виділити високу точність результатів, врахування факторів невизначеності та ризику, можливість прогнозування ефективності логістичних рішень. В той самий час, серед недоліків – складність у впровадженні на практиці, значні часові та фінансові витрати на розробку моделей для окремих підприємств, обмежене врахування специфіки окремих галузей.

Зважаючи на виявлені недоліки в застосуванні методичних підходів до аналізу та оцінки ефективності логістичних рішень підприємства пропонуємо для їх оцінки на великих підприємствах застосовувати гібридні моделі (наприклад, комбінацію MCDM-методів із цифровими двійниками), для середніх і малих підприємств – спрощені моделі на основі DEA чи SCOR для базової оцінки без надлишкових витрат. При прийнятті стратегічних логістичних рішень доцільно поєднувати традиційні економіко-математичні методи із елементами машинного навчання для прогнозування можливих сценаріїв.



В умовах військового стану та економічної нестабільності в Україні, подальшої інтеграції бізнесу у невизначеному сьогоденні в глобальні ринки, підприємства змушені переглядати свої логістичні підходи. Оптимізація логістичних рішень дозволяє зменшити витрати, підвищити гнучкість і стійкість бізнесу. Вивчення як українського досвіду, так і зарубіжних практик дає змогу адаптувати ефективні інструменти управління логістикою до сучасних умов, враховуючи цифровізацію, ризики та потребу в сталому розвитку в умовах невизначеності логістичного середовища.

Як відзначає Кігель В. Р., «оптимізацію логістичних рішень здійснюють на основі всебічного аналізу комплексу взаємозалежних чинників, визначення та порівняльної оцінки можливих альтернатив і допустимих планів дій» [14, с. 7], тоді як «знаходять розв'язок оптимізаційної логістичної задачі з використанням спеціальних математичних методів оптимізації, комп'ютерних програм та засобів обчислювальної техніки на основі належної вихідної інформації» [14, с. 8]. Водночас, важливу увагу в процесі прийняття рішень слід звертати й на проблему забезпечення належного рівня їх ефективності [25].

Як показує аналіз змісту наукових публікацій учених сучасності [14–24], залежно від пріоритетності цілей логістичної діяльності слід виділити наступні напрямки оптимізації логістичних рішень підприємств:

- оптимізація логістичних процесів підприємства на основі використання цифрових інновацій;
- оптимізація управління логістичними процесами підприємства на основі комбінування застосовуваних методів і технологій;
- впровадження економіко-математичних моделей прийняття рішень щодо вирішення проблем в логістиці підприємства.

Як вірно зауважує Мащак Н. М., впровадження сучасних цифрових інновацій взмозі ефективно оптимізувати логістичні процеси підприємств, якщо ефективно використовувати такі інструменти як імітаційне моделювання, штучний інтелект, розширену аналітику, інструменти інтелектуального переміщення водія, системи оптимізації роботи диспетчера [17]. Так, «високий рівень цифровізації та інтеграції суттєво впливає на горизонтальну інтеграцію ланцюгів створення вартості (44%), доступ клієнтів до систем виробника, канали продажів і маркетинг (37%), вертикальну інтеграцію ланцюгів створення вартості (36%), загальний рівень цифровізації (28%), проектування та розробку продукції (25%), цифрові бізнес-моделі, портфель продуктів і послуг (21%)» [11].

Для оптимізації управління логістичними процесами підприємства пропонується застосовувати комбінування методів (таблиця 2).

Таблиця 2

Порівняльний аналіз методів оптимізації логістичних процесів і рішень підприємства

Методи	Сфера застосування	Переваги	Недоліки / Обмеження	Приклади використання
Лінійне програмування	Транспорт, розподіл ресурсів	Висока точність, формалізація задач	Потребує точних вхідних даних, складність у моделюванні реалій	Оптимізація маршрутів доставки, розподіл вантажів

Продовження таблиці 2

Методи	Сфера застосування	Переваги	Недоліки / Обмеження	Приклади використання
Імітаційне моделювання	Складська та виробнича логістика	Враховує динаміку, гнучкість, наочність	Високі витрати часу та ресурсів на моделювання	Моделювання роботи складу, черг, обробки замовлень
SWOT-аналіз	Стратегічне планування логістики	Простота, системний підхід	Суб'єктивність оцінок, не дає кількісної оцінки	Оцінка логістичної стратегії підприємства
Бенчмаркінг	Усі логістичні функції	Орієнтація на кращі практики, виявлення точок зростання	Не завжди є доступ до даних конкурентів	Порівняння логістичних KPI з лідерами галузі
ABC/XYZ-аналіз	Управління запасами, витратами	Простота впровадження, допомога в класифікації ресурсів	Не враховує взаємозв'язки між категоріями	Оптимізація рівнів запасів на складі
Мережеве планування (PERT/CPM)	Управління логістичними проектами	Візуалізація критичних шляхів, контроль за строками	Складність при великій кількості взаємозв'язків	Планування логістичних проектів, запуск нових маршрутів
ERP / TMS / WMS системи	Інтеграція даних, автоматизація логістики	Автоматизація, реальний контроль, зниження людського фактора	Висока вартість впровадження, потреба в навчанні персоналу	Керування транспортом, запасами, складами
Big Data та прогнозна аналітика	Планування попиту, управління запасами	Точні прогнози, персоналізоване планування	Високі вимоги до IT-інфраструктури та даних	Прогнозування сезонного попиту, оптимізація закупівель

Джерело: побудовано на основі [14-24]

За функціональною сферою слід виділити наступні напрямки оптимізації логістичних рішень:

- удосконалення роботи транспортної логістики (впровадження систем GPS-моніторингу та TMS, покращення планування маршрутів доставки, консолідація вантажів);
- раціоналізація закупівель та постачання (впровадження е-обміну даними для оптимізації документообороту, забезпечення більш надійного вибору постачальників за даними аналітики ризиків, перехід до Just-in-Time);
- оптимізація складської логістики (впровадження автоматизованих систем управління складом, принципів lean-логістики);
- інтеграція IT (впровадження ERP-систем, застосування Big Data та аналітики – для прогнозування попиту та планування ресурсів, блокчейн-технологій – для прозорості постачань);



– оптимізація логістичних витрат (здійснення ABC/XYZ-аналізу, діагностика проблем логістичного ланцюга, впровадження аутсорсингу).

Впровадження математичних і цифрових моделей та методів прийняття рішень щодо вирішення проблем в логістиці підприємства доцільне для отримання більш обґрунтованих і точних результатів.

Висновки та пропозиції. Оптимізація логістичних рішень сприяє покращенню якості обслуговування споживачів, підвищенню швидкості реагування на зміни попиту та забезпеченню злагодженої роботи всіх підрозділів, забезпечує своєчасне постачання ресурсів, мінімізацію запасів, скорочення витрат на транспортування й зберігання.

За результатами аналізу методичних підходів з використання математичних і цифрових моделей та методів в аналізі та оцінці ефективності логістичних рішень підприємств рекомендовано для оцінки логістичних рішень на великих підприємствах – застосування гібридних або ж комбінованих моделей, а для середніх і малих підприємств – моделей на основі DEA чи SCOR. Порівняльний аналіз методів оптимізації логістичних рішень підприємства виявив застосування як традиційних (лінійне програмування, імітаційне моделювання, SWOT-аналіз, ABC/XYZ-аналіз тощо), так і більш сучасних методів (PERT/CPM, WMS системи, Big Data та прогнозна аналітика), адаптованих під тенденції розвитку інформаційного суспільства. Їхнє застосування визначається цілями та проблемами логістики підприємств, а також можливостями останніх відносно їхнього впровадження.

Запропоновано до числа напрямків оптимізації логістичних рішень підприємств слід відносити такі як: оптимізація логістичних процесів підприємства на основі використання цифрових інновацій; оптимізація управління логістичними процесами підприємства на основі комбінування застосовуваних методів і технологій; впровадження економіко-математичних моделей прийняття рішень щодо вирішення проблем в логістиці підприємства.

Подальші дослідження пропонуємо спрямувати на удосконалення методичних засад управління оптимізацією логістичних процесів і систем підприємства.

Список використаних джерел:

- [1] Величко, Я. І., & Гетьман, О. О. (2023). Формування управлінського рішення щодо вибору логістичної стратегії підприємства. *Економіка транспортного комплексу*, 42, 221.
- [2] Yu, M.-M., & Rakshit, I. (2025). An alternative assessment approach to global logistics performance evaluation: Common weight H-DEA approach. *International Transactions in Operational Research*, 32, 839–862.
- [3] Çalık, A., Erdebilli, B., & Özdemir, Y. S. (2023). Novel Integrated Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Approach for Logistics Performance Index. *Transportation Research Record*, 2677(2), 1392–1400.
- [4] 4. Karbassi Yazdi, A., Mehdiabadi, A., Wanke, P. F., Monajemzadeh, N., Correa, H. L., & Tan, Y. (2023). Developing supply chain resilience: a robust multi-criteria decision analysis method for transportation service provider selection under uncertainty. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 18(1), 51–64.

- [5] Suvorova, I. M., Basanets, S. V., Pozniak, O. V., & Davydenko, V. V. (2024). Modern Methods of Evaluating the Efficiency of Logistics Processes in a Company. *Intellectualization of logistics and Supply Chain Management*, 27, 7–18.
- [6] Kotlars, A., & Skribans, V. (2023). Development and Practical Application of Hybrid Decision-Making Model for Selection of Third-Party Logistics Service Providers. *Transport and Telecommunication Journal*, 24(4), 443–458.
- [7] Liu, H., Rao, K. T. V., Yogi, K. S., & Dhone, N. (2023). Evaluating a Sustainable Intelligent Logistic System (ILS) Utilizing O-S Data and Holistic Managerial Models. *Journal of Advanced Transportation*. No 8873464.
- [8] Le, T. V., & Fan, R. (2024). Digital Twins for Logistics and Supply Chain Systems: Literature Review, Conceptual Framework, Research Potential, and Practical Challenges. *Computers & Industrial Engineering*, 187. No 109768.
- [9] Schmid, L., Roidl, M., & Pauly, M. (2025). Comparing statistical and machine learning methods for time series forecasting in data-driven logistics: A simulation study. *Entropy*, 27. No 25.
- [10] Özkanlısoy, Ö., & Bulutlar, F. (2023). Measuring Supply Chain Performance as SCOR v13.0-Based in Disruptive Technology Era: Scale Development and Validation. *Logistics*, 7. No 65.
- [11] Кривов'язюк, І. (2023). Цифрова трансформація та удосконалення систем інтегрованого планування в ланцюгах постачання промислових підприємств. *Економічний форум*, 1(4), 125–133.
- [12] Кривов'язюк, І. В., & Кулик, Ю. М. (2012). Управління надійністю логістичної системи підприємства. Львів: Манускрипт.
- [13] Кривов'язюк, І. В., & Усков, О. Р. (2011). Управління логістичними інформаційними системами підприємства. Львів: Манускрипт.
- [14] Кігель, В. Р. (2007). Оптимізація логістичних рішень. Київ: Університет економіки та права «КРОК».
- [15] Івашко, Л. М. (2023). Оптимізація управління логістичними процесами у торгівлі. *Ринкова економіка: сучасна теорія і практика управління*, 21(3(52)), 365–389.
- [16] Краєвська, А., Безсмертна, О., & Шварц, І. (2022). Логістичні моделі оптимізації процесу забезпечення підприємства матеріальними ресурсами. *Innovation and Sustainability*, 4, 22–29.
- [17] Мащак, Н. М. (2024). Оптимізація логістичних процесів підприємства на основі використання цифрових інновацій. *Академічні візії*, 34. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1315>.
- [18] Мінакова, С., & Грігорі, О. (2023). Сучасні методи оптимізації логістичних процесів. *Підприємництво та управління розвитком соціально-економічних систем*, 2, 107–127.
- [19] Ольхова, М. В. (2021). Оптимізація логістичних процесів. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.
- [20] Савицький, Е. Е. (2023). Вплив оптимізації логістичних процесів на ефективність комерційної діяльності підприємства. *Економіка та суспільство*, 52. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-47>
- [21] Завадська, О. М. (2023). Оптимізація ланцюга постачань у комерційній логістиці: вплив на ефективність та прибутковість. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*, 5(322), 234–241.
- [22] Smerichevskiy, S., Poberezhna, Z., Kryvovyazyuk, I., & Ivanenko, L. (2024). Formation of principles of a customer-oriented approach by transport enterprises in conditions of sustainable development. *E3S Web Conf.* 534. No 01022.
- [23] Smerichevskiy, S., Mykhalchenko, O., Poberezhna, Z., & Kryvovyazyuk, I. (2023). Devising a systematic approach to the implementation of innovative technologies to provide the stability of transportation enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (13(123)), 6–18.

- [24] Beskorovainyi, V., & Draz, O. (2021). Mathematical models of decision support in the problems of logistics networks optimization. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 4 (18), 5–14.
- [25] Кривов'язюк, І. В., & Пахольчук, А. І. (2013). Процес прийняття господарських рішень та його вплив на ефективність діяльності підприємства. *Ефективна економіка*, 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1962>.

MATHEMATICAL AND DIGITAL MODELS AND METHODS IN EVALUATING THE EFFECTIVENESS AND OPTIMIZATION OF LOGISTICS SOLUTIONS

Ihor Kryvoviazziuk

Ph.D in Economic sciences, Professor,
Professor of the Department of Entrepreneurship, Trade and Logistics
Lutsk National Technical University, Ukraine

Oleksandr Burban

Ph.D in Economic sciences,
Associate Professor of the Department of Entrepreneurship, Trade and Logistics
Lutsk National Technical University, Ukraine

Summary. *The article summarizes methodical approaches used in the analysis and evaluation of efficiency, as well as optimization of logistics solutions. A comparative analysis of the use of mathematical and digital models and methods in the analysis and evaluation of the effectiveness of logistics solutions of enterprises was carried out. Methods of optimizing logistics processes and enterprise solutions are analyzed. Modern directions of optimization of logistics processes and solutions based on the results of analysis and evaluation of the use of mathematical and digital models and methods have been determined.*

Keywords: *mathematical models; digital technologies; logistics processes; logistics solution; optimization methods; enterprise.*