

UDC 651.1

JEL classification: C63; L91; M11; R41

DOI: 10.35774/visnyk2025.03.138

Андрій Іванович ПАПІНКО,
доктор філософії (Економіка),
викладач кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет,
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009, Україна.
Електронна адреса: a.papinko@wunu.edu.ua.
ORCID ID: 0000-0001-8515-9376.

Ігор Валерійович КУДІНОВ,
аспірант кафедри транспорту і логістики
Західноукраїнський національний університет,
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009, Україна,
Електронна адреса: i.kudinov@wunu.edu.ua.
ORCID ID: 0009-0003-8155-8910.

Юрій Миколайович ПЕТРИШИН,
аспірант кафедри транспорту і логістики
Західноукраїнський національний університет,
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009, Україна,
Електронна адреса: u.petrychyn@wunu.edu.ua.
ORCID ID: 0009-0002-4458-5568.

Ігор Євгенович ВЕЛИЧЕНКО,
аспірант кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет,
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009, Україна.
Електронна адреса: i.velychenko@wunu.edu.ua.
ORCID ID: 0009-0004-4893-6606.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ: БАГАТОАСПЕКТНА ОЦІНКА ТА СТРАТЕГІЇ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Папінко А. І., Кудінов І. В., Петришин Ю. М., Величенко І. Є. Оптимізація логістичних систем: багатоаспектна оцінка та стратегії імітаційного моделювання. *Вісник економіки*. 2025. Вип. 3. С. 138–149. DOI: 10.35774/visnyk2025.03.138.

Papinko A. I., Kudinov I. V., Petrychyn Yu. M., Velychenko I. Ye. (2025). Optymizatsiia lohistrychnykh system: bahatoaspektna otsinka ta stratehii imitatsiinoho modeliuвання [Optimization of logistics systems: multi-aspect assessment and simulation modeling

© Андрій Іванович Папінко, Ігор Валерійович Кудінов,
Юрій Миколайович Петришин, Ігор Євгенович Величенко, 2025.

Анотація

Вступ. Ефективність логістичних систем визначається сукупністю фінансових, часових, якісних та ресурсних показників, проте її загальний рівень залишається нижче 10%, що свідчить про значний потенціал удосконалення. Однією з основних проблем є відсутність уніфікованих підходів до оцінювання, що ускладнює порівняльний аналіз та стратегічне планування.

Мета дослідження. Розробка та вдосконалення методології імітаційного моделювання для підвищення економічної ефективності логістичних систем у складних та стохастичних умовах їх функціонування.

Методи дослідження. Використано методи імітаційного моделювання, зокрема побудову гомоморфних моделей, аналіз часових функцій ефективності та алгоритмічне моделювання сценаріїв розвитку систем.

Результати. Обґрунтовано доцільність застосування імітаційного моделювання для оцінювання та оптимізації логістичних процесів за відсутності або складності аналітичних рішень. Запропоновано використання гомоморфних моделей для відтворення динаміки систем у режимі реального часу, а також створення спеціалізованого програмного забезпечення для комплексного аналізу. Визначено переваги імітаційного підходу (гнучкість, багатокритеріальна оптимізація, інтерактивність) та окреслено обмеження (висока вартість, потреба у висококваліфікованих фахівцях, складність від стохастичної природи систем).

Перспективи. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення уніфікованих методів оцінювання ефективності логістичних систем та інтеграцію імітаційного моделювання з інтелектуальними технологіями аналізу даних.

Ключові слова: логістична система, імітаційне моделювання, гомоморфні моделі, стохастичні процеси.

Формули: 1, рис.: 0, табл.: 1, бібл.: 14.

JEL classification: C63; L91; M11; R41

Andriy Ivanovych PAPINKO,

PhD (Economics),

Lecturer at the Department of Transport and Logistics,

West Ukrainian National University,

5a st. Lvivska st., Ternopil, 46009, Ukraine.

E-mail: a.papinko@wunu.edu.ua.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8515-9376>.

Igor Valeriiovych KUDINOV,

Postgraduate student,

Department of Transport and Logistics,

West Ukrainian National University,

5a st. Lvivska st., Ternopil, 46009, Ukraine.

E-mail: kaf_tl@wunu.edu.ua.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-8155-8910>.

Yuriy Mykolaiovych PETRYSHYN,

Postgraduate student,

Department of Transport and Logistics,

West Ukrainian National University,

5a st. Lvivska st., Ternopil, 46009, Ukraine.

E-mail: kaf_tl@wunu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-4458-5568>

Ihor Yevhenovych VELICHENKO,

Postgraduate student,

Department of Transport and Logistics,

West Ukrainian National University,

5a st. Lvivska st., Ternopil, 46009, Ukraine.

E-mail: kaf_tl@wunu.edu.ua.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-4893-6606>.

OPTIMIZATION OF LOGISTICS SYSTEMS: MULTI-FACETED EVALUATION AND SIMULATION MODELING STRATEGIES

Abstract.

Introduction. *The efficiency of logistics systems is determined by a combination of financial, temporal, quality, and resource utilization indicators; however, the overall level remains below 10%, indicating significant potential for improvement. One of the key challenges is the absence of unified evaluation approaches, which complicates comparative analysis and strategic planning*

Objective. *To develop and improve the methodology of simulation modeling aimed at enhancing the economic efficiency of logistics systems operating under complex and stochastic conditions.*

Methods. *The study applies simulation modeling methods, including the development of homomorphic models, analysis of time-dependent efficiency functions, and algorithmic modeling of system development scenarios.*

Results. *The expediency of simulation modeling for evaluating and optimizing logistics processes in cases where analytical solutions are unavailable or overly complex has been substantiated. The use of homomorphic models is proposed to reproduce system dynamics in real time, along with the creation of specialized software for comprehensive analysis. The advantages of the simulation approach (flexibility, multi-criteria optimization, interactivity) have been identified, as well as its limitations (high cost, need for highly qualified specialists, complexity arising from the stochastic nature of systems).*

Perspectives. *Future research should focus on developing unified methods for assessing logistics system efficiency and integrating simulation modeling with intelligent data analysis technologies.*

Keywords: *logistics system, simulation modeling, homomorphic models, stochastic processes.*

Formulas: 1, **fig.:** 0, **tabl.:** 1, **bibl.:** 14.

JEL classification: C63; L91; M11; R41.

Постановка проблеми. Ефективність логістичних систем є багатоаспектним критерієм, що охоплює фінансові, часові показники, якість послуг та ефективність використання активів, проте, за результатами досліджень, вона залишається на низькому рівні [1]. Цей факт підкреслює значний потенціал для вдосконалення, який, однак, ускладнюється відсутністю єдиних, чітких визначень та стандартних підходів до оцінювання ефективності логістичних систем, що створює виклики для фахівців та ускладнює порівняння результатів та розробку ефективних стратегій. Впровадження імітаційного моделювання може стати перспективним шляхом для підвищення економічної ефективності логістичних систем, завдяки його здатності враховувати динаміку процесів та багатокритеріальну оптимізацію. Проте складність логістичних процесів, їхня невизначеність та стохастичність робить неможливим створення ізоморфних моделей, а це вимагає використання гомоморфних моделей, реалізованих через імітаційне моделювання. Незважаючи на всі переваги, імітаційне моделювання логістичних систем має суттєві обмеження, зокрема значну вартість впровадження та підтримки, необхідність кваліфікованих фахівців, а також ризик неточних результатів через припущення, що робить актуальною проблему розроблення та вдосконалення методології імітаційного моделювання, яка дозволила б подолати ці виклики та максимально використати потенціал такого підходу для підвищення загальної ефективності логістичних ланцюгів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасна наукова література містить дослідження щодо підвищення ефективності логістичних процесів в економіці. Вищевказані проблеми досліджували науковці Мерінова С. В., Половенко Л. П., Зінов'єва О. Г., Шаров С. В., Фісун М. Т., Ковальчук М. В., Стадник Ю. А., Тараненко Ю. В., Федоренко, І. К., Марченко В. М. Васильєв О. Л., Саханд А., Ніколюк П. К., Самостян В., Попович П. В., Попович П. В., Шевчук О. С. та ін. У цьому контексті особливу увагу привертають праці, що демонструють значний потенціал імітаційного моделювання.

Мерінова С. та Половенко Л. досліджують застосування імітаційного моделювання для оптимізації логістичних процесів і розглядають побудову логістичної мережі руху матеріальних ресурсів, враховуючи можливі витрати на логістику. Вони пропонують імітаційну модель, що ґрунтується на наскрізному моніторингу матеріального та інформаційного потоків, а також інтеграції закупівельної, виробничої, розподільної, транспортної, інформаційної та фінансової логістики. Дослідження доводить, що практичне використання імітаційного моделювання системи управління запасами дає змогу вибирати оптимальні стратегії управління та підвищити ефективність логістичних процесів [2]. Зінов'єва О. та Шаров С. зосереджуються на застосуванні імітаційного моделювання для підвищення ефективності логістичних процесів в аграрному секторі, який характеризується високим ступенем невизначеності через кліматичні умови, коливання врожайності та сезонність попиту. Вони пропонують

модель, яка дає змогу оцінити вплив різних факторів, зокрема продуктивності техніки, ємності складів та стану транспортної інфраструктури, на ефективність системи. Науковці зазначають, що результати моделювання можуть слугувати основою для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на мінімізацію втрат урожаю та підвищення ефективності всього ланцюжка постачання. У дослідженні зазначено, що імітаційне моделювання дає змогу подолати обмеження традиційних методів оптимізації в умовах невизначеності і надає інструмент для аналізу складних систем та оцінювання впливу різних факторів на ефективність сільськогосподарського підприємства [3]. У праці Фісун М., Ковальчук М. особлива увага приділяється актуальності транспортної задачі в контексті оптимізації логістичних процесів, зокрема розподілу ресурсів та перевезення товарів. У цьому аспекті імітаційне моделювання є основним інструментом для прогнозування попиту та оптимізації запасів у логістичних ланцюгах, що дає змогу враховувати численні фактори, такі як динаміка попиту чи стан транспортної інфраструктури, для прийняття найбільш вигідних рішень щодо транспортування та розподілу вантажів [4].

Таким чином, транспортна задача практично втілена в управлінні логістичними ланцюгами, де ефективний розподіл ресурсів та забезпечення безперебійного перевезення є пріоритетними завданнями. Математична постановка цієї задачі передбачає знаходження оптимального розподілу ресурсів між пунктами відправлення та призначення для мінімізації сукупних витрат на перевезення.

Стадник Ю. [5] акцентує увагу на важливості логістики для інтеграції ланок ланцюга постачань і ефективного управління матеріальними потоками, що відбувається в умовах невизначеності зовнішнього середовища. Дослідження підкреслює, що фактори, які впливають на управління матеріальними потоками, часто мають випадковий характер, а методи логістичної діяльності на макрорівні ще недостатньо сформовані. Авторка розглядає різні методи оптимізації логістичних процесів, зокрема аналітичне моделювання, оптимізаційні задачі та імітаційне моделювання. Імітаційне моделювання представлено як гнучкий та багатофункціональний підхід для опису процесів складської та транспортної логістики, а також управління ланцюгами постачань. Метою імітаційної моделі є мінімізація загальних логістичних витрат, пов'язаних зі зберіганням запасів, доставкою замовлень та можливим дефіцитом продукції. У статті зазначається, що сучасні системи імітаційного моделювання, такі як AnyLogic, автоматизують побудову коду на основі графічних схем, значно спрощуючи створення моделей. Завдяки імітаційному моделюванню користувач може аналізувати альтернативні рішення та плани, тестуючи їхній ефект без експериментів у реальному середовищі, що є дорогим або неможливим.

Постановка завдання. З огляду на виявлені проблемні аспекти, дослідження ставить за мету розроблення та вдосконалення методології імітаційного моделювання для підвищення економічної ефективності логістичних систем. Завдання включає розуміння низького рівня ефективності логістики та її причин, таких як відсутність єдиних методів оцінювання, а також обґрунтування того, що саме імітаційне моделювання є найоптимальнішим інструментом для роботи зі складними, динамічними та випадковими логістичними процесами, оскільки воно дає змогу враховувати невизначеність, проводити багатокритеріальну оптимізацію та аналізувати динаміку

системи. Також з огляду на переваги та обмеження моделювання доцільно розробити його алгоритм для надання практичних рекомендацій щодо зростання ефективності логістики.

Виклад основного матеріалу. Ефективність логістичної системи, як це детально описано у праці [6], є складним багатаспектним критерієм, який визначається через сукупність взаємопов'язаних показників. Ця система показників слугує для об'єктивної характеристики рівня якості функціонування всіх елементів логістичного ланцюга.

Для систематизації ключових метрик, що формують ефективність логістичної системи, доцільно виокремити їх у чотири групи (фінансові, часові, якісні та ресурсні). Узагальнено вони наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Ключові показники ефективності логістичної системи

Група показників	Приклади конкретних метрик	Характеристика
Фінансові	Сумарні логістичні витрати, окупність основних засобів, швидкість обороту обігових коштів	Відображають економічну результативність системи
Часові	Час виконання замовлення, своєчасність доставки, середня тривалість обробки вантажу	Відображають оперативність та надійність системи
Якісні	Рівень сервісу, кількість рекламаций, відповідність стандартам	Показують задоволення клієнтів
Використання активів	Завантаження складів, коефіцієнт використання активів	Відображають ефективність використання ресурсів
Інноваційні/аналітичні	Ступінь цифровізації, використання імітаційного моделювання	Відображають потенціал розвитку системи

Поняття ефективності не обмежується лише фінансовою складовою. До неї входять також часові показники, що відображають оперативність і своєчасність доставки, обробки замовлень та інших логістичних операцій, що є ключовим фактором у сучасному бізнес-середовищі. Важливе значення мають показники якості, які гарантують відповідність логістичних послуг та продуктів встановленим стандартам та вимогам споживачів. Ефективність також оцінюється через призму використання активів, зокрема через швидкість обороту обігових коштів. Це демонструє, наскільки швидко інвестований капітал повертається у бізнес, та окупність основних засобів, що свідчить про ефективність використання довгострокових активів. У сукупності ці показники формують цілісну картину функціональності та успішності логістичної системи. Згідно з результатами проведених досліджень [7], загальна ефективність логістичних ланцюгів наразі становить менш ніж 10%, це свідчить про значний потенціал для поліпшення.

Важливою умовою досягнення ефективності є оптимізація за заданого рівня сумарних логістичних витрат, що означає максимізацію результатів за мінімізацією ресурсних затрат.

Узагальнено ефективність логістичної системи можна подати як багатофакторну функцію кількох взаємопов'язаних параметрів (1):

$$E=f(C,T,Q,A), \quad (1)$$

де C – фінансові показники (Cost), T – часові показники (Time), Q – якісні показники (Quality), A – використання активів (Assets).

У практиці досліджень та управління часто застосовується зважений підхід:

$$E=w_c C + w_t T + w_q Q + w_a A,$$

де w_i – вагові коефіцієнти, що визначають пріоритетність факторів.

Подальше зростання ефективності в цій сфері можливе лише завдяки поглибленому аналізу та всебічному розумінню складних логістичних процесів. Важливо зазначити, сьогодні бракує єдиних, чітких визначень щодо ефективності функціонування логістичних систем, а також стандартних підходів до її оцінювання. Тому це створює певні виклики для фахівців, які прагнуть оптимізувати логістичні операції, адже відсутність уніфікованої термінології та методик оцінювання ускладнює порівняння результатів та розробку ефективних стратегій. Отже, для досягнення вищої продуктивності в логістиці критично важливим є глибоке занурення в нюанси кожного етапу – від закупівель до доставки до кінцевого споживача, а також розробка більш узгоджених методів оцінювання.

Економічну ефективність логістичних систем можна збільшити через впровадження методології імітаційного моделювання [7, 8]. Це дає змогу суттєво покращити функціонування таких систем. Аналітичне моделювання, зокрема застосоване до логістики, вирізняється значною узагальнювальною здатністю, що дає змогу застосовувати отримані висновки до широкого спектра подібних ситуацій. Також важливою перевагою є можливість повторного використання розроблених моделей, що забезпечує гнучкість та економію ресурсів за подальшого аналізу або модифікації, вдосконалення систем. Такий підхід дає змогу не тільки оцінити поточний стан, а й прогнозувати можливі сценарії розвитку, оптимізуючи операційні процеси та знижуючи витрати. Адекватне та всебічне вивчення складних процесів, що відбуваються в логістичних мережах, вимагає наявності винятково точних вихідних даних. Ці дані мають охоплювати ключові характеристики, представлені як функції змінних системи, а також вичерпну інформацію про початкові параметри та вихідні умови [9].

Такий рівень деталізації є цілком досяжним для відносно простих систем, де успішно застосовуються ізоморфні моделі, що дають змогу точно відобразити реальність. Однак з огляду на те, що функціонування логістичних систем відбувається в умовах притаманної їм невизначеності та стохастичності, створення ізоморфних моделей для таких складних сценаріїв стає неможливим. У відповідь на цю складність для аналізу та прогнозування процесів у логістичних системах більш раціональним і ефективним підходом є використання гомоморфних моделей, реалізованих через імітаційне моделювання. Цей метод дає змогу врахувати динаміку реальних логістичних процесів, де показники функціонування оцінюються як функції часу. Беззаперечно, найоптимальнішою та єдиною дієвою формою такої моделі є спеціально розроблена комп'ютерна програма, що дозволяє детально аналізувати логістичну систему на основі попередньо об'єднаних показників.

Процес імітаційного моделювання зазвичай охоплює дві основні фази: спершу створюється модель, що відображає реальну систему, а потім на цій моделі проводяться різноманітні експерименти для отримання необхідних даних [10]. Наріжним каменем

успішної логістичної системи є глибоке розуміння того, як вона функціонує, а також уміння обрати оптимальний вектор розвитку, що гарантує найвищу ефективність її діяльності. Спираючись на попередні дослідження та напрацювання, зокрема ті, що представлені у джерелах [6, 11], запропоновано вдосконалений алгоритм для всебічного аналізу логістичних систем. Цей підхід акцентує увагу на застосуванні імітаційного моделювання, особливий наголос робиться на ретельному плануванні експериментальних досліджень. З огляду на притаманну складність багатофакторних експериментів у логістиці, це має вирішальне значення. Запропонований алгоритм розгортається послідовно: спершу розробляється фундаментальна, базова модель, яка слугуватиме основою для подальших етапів. Після цього розроблена модель втілюється у цифровій формі та реалізується на персональному комп'ютері. Наступним критично важливим кроком є продумане та систематичне планування самого експерименту, що передбачає визначення ключових параметрів, змінних та гіпотез. Завершальним етапом є безпосереднє проведення запланованих експериментальних досліджень, де збираються та аналізуються дані для отримання цінних висновків. Прикладом практичного застосування методології імітаційного моделювання у виробничій логістиці може бути така послідовність дій: детальний опис усіх задіяних бізнес-процесів, що формують основу функціонування системи. За цим слідує опис документообігу, який розглядається як невід'ємна функція цих бізнес-процесів, що відображає потік інформації і рішень. Далі відбувається розробка системи збалансованих показників (BSC), яка дає змогу всебічно оцінювати продуктивність та ефективність. Після цього формулюється детальне технічне завдання для розроблення відповідного програмного забезпечення, що автоматизуватиме і підтримуватиме логістичні операції. Фінальним кроком є ретельне налагодження та тестування розробленого програмного забезпечення, щоб забезпечити його бездоганну роботу і відповідність визначеним цілям.

Імітаційне моделювання є обґрунтованим підходом, особливо з огляду на фактори, зазначені у джерелах [10; 12]. Його доцільно застосовувати у випадках, коли для розробленої математичної моделі відсутні прямі аналітичні методи вирішення. Також цей метод стає незамінним, якщо розв'язання аналітичних залежностей, навіть якщо вони існують, є надмірно складним та трудомістким. Варто зазначити, що друга умова, яка стосується складності процедури розв'язання, сьогодні долається значно легше. Це можливо завдяки підвищенню кваліфікації спеціалістів та широкому доступу до сучасного стандартного програмного забезпечення, що спрощує виконання навіть найскладніших обчислень.

Імітаційне моделювання вирізняється своєю винятковою здатністю ефективно справлятися із завданнями, що охоплюють стохастичні процеси, тобто ті, в яких присутня випадковість і дозволяє отримувати точні та реалістичні результати, на відміну від методів, які не враховують подібні невизначеності. Крім того, однією з ключових переваг цього підходу є його спроможність до багатокритеріальної оптимізації, адже за допомогою імітаційного моделювання можна одночасно враховувати та покращувати декілька взаємопов'язаних параметрів або цілей, що є надзвичайно цінним для складних систем, де оптимізація лише за одним критерієм може призвести до небажаних компромісів в інших аспектах. У процесі моделювання відбувається

детальне вивчення функціонування системи у часі, що дає змогу спостерігати за динамікою її поведінки. Важливою особливістю є інтерактивність: змінюючи вхідні дані моделі, можна миттєво побачити, як ці зміни впливають на вихідні результати, забезпечують швидкий зворотний зв'язок і сприяють глибшому розумінню причинно-наслідкових зв'язків у системі. Ця безпосередня візуалізація впливу змін дозволяє не тільки аналізувати поточні сценарії, а й прогнозувати можливі наслідки різних рішень, що робить імітаційне моделювання незамінним інструментом для прийняття обґрунтованих рішень у різноманітних галузях.

Імітаційне моделювання логістичних систем, хоча й є потужним інструментом для аналізу та прогнозування, має кілька суттєвих обмежень, які варто враховувати. Одним з найвагоміших недоліків є висока вартість його впровадження та підтримки, яка охоплює не лише витрати на програмне забезпечення та апаратне забезпечення, а й оплату праці висококваліфікованих спеціалістів, які займаються розробленням, налаштуванням та аналізом моделей [13; 14]. Складність логістичних систем, де процеси часто є ймовірнісними за своєю природою, додає ще один рівень складності. Це означає, що побудова моделей вимагає певних припущень щодо поведінки системи, що може призвести до неточних результатів або навіть до створення неправдивої імітації, яка не відображає реального стану речей. Таким чином, є ризик отримати висновки, що можуть ввести в оману, якщо припущення не були достатньо обґрунтованими або якщо модель не враховує всіх нюансів. Для ефективного використання імітаційного моделювання потрібен не тільки значний обсяг фінансування, а й наявність висококваліфікованих фахівців, які володіють глибокими знаннями як у галузі логістики, так і в сфері моделювання та статистики. Без такого рівня експертизи є велика ймовірність того, що моделі будуть розроблені некоректно або їх результати будуть інтерпретовані неправильно, що зведе нанівець всі переваги цього підходу.

Висновки і перспективи подальших наукових досліджень. Ефективність логістичної системи – це багатогранний критерій, що виходить за рамки суто фінансових показників, охоплює також часові показники, якісні показники та показники використання активів. Коли загальна ефективність логістичних ланцюгів залишається низькою, а брак уніфікованих методик оцінювання створює значні виклики, імітаційне моделювання є ключовим інструментом для її оптимізації. Такий підхід дає змогу враховувати стохастичність і невизначеність процесів, проводити багатокритеріальну оптимізацію та детально вивчати динаміку системи, незважаючи на значну вартість впровадження і вимоги до високої кваліфікації фахівців. Незважаючи на певні обмеження, цілісне застосування імітаційного моделювання, що ґрунтується на глибокому аналізі бізнес-процесів, документообігу та розробці збалансованих показників, необхідне для досягнення значного зростання продуктивності та успішності в сучасній логістиці.

Література

1. Wang, B., Liu, M. & Gao, S. Temporal-spatial evolution analysis of carbon emission efficiency in the logistics industry of coastal provinces in China based on the super-

-
- efficiency SBM model. *Carbon Balance Manage*. 2025. № 20. P. 8. DOI: 10.1186/s13021-025-00299-z.
2. Мерінова С. В., Половенко Л. П. Імітаційне моделювання в управлінні логістичними системами. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2018. № 6 (17). С. 264–268.
 3. Зінов'єва О. Г., Шаров С. В. Імітаційне моделювання логістики в аграрному секторі. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2025. № 15 (1). С. 209–213. DOI: 10.32782/2220-8674-2025-25-1-24.
 4. Фісун М. Т., Ковальчук М. В. Імітаційне моделювання у прогнозуванні попиту та оптимізації запасів у логістичних ланцюгах. *Ольвійський форум-2024: стратегії країн причорноморського регіону в геополітичному просторі: матеріали міжнародної науковопрактичної конференції* (м. Миколаїв, 20-23 червня 2024 р.). Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2024. С. 127–128.
 5. Стадник Ю. А. Моделювання логістичних процесів. Збірник тез доповідей. *Збірник тез звітної наукової конференції Львівського національного університету імені Івана Франка* (м. Львів, 1-8 лютого 2020 р.). Львів, 2020. С. 103–106.
 6. Тараненко Ю. В., Федоренко, І. К. Імітаційне моделювання логістичних процесів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*. 2016. № 8 (185). С. 38–44.
 7. Марченко В. М. Логістика: підруч. Київ : НУХТ, 2022. 334 с.
 8. Васильєв О. Л. Проектування логістичних систем. Харків : УкрДУЗТ, 2019. 35 с.
 9. Саханд А. Імітаційне моделювання логістичної системи. Київ : ДТЕУ, 2023. 77с.
 10. Ніколюк П. К. Моделювання систем : навч. посіб. Вінниця : ДонНУ, 2023. 228 с.
 11. Самостян В. Ефективне використання підходів для імітаційного моделювання логістичних процесів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк. 2020. № 2 (15). С.127–133. DOI: 10.36910/automash.v2i15.400.
 12. Чорна О. В., Попович П. В., Маяк М. М.. Підвищення ефективності ланцюгів поставок. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. Вип. 7(38). Ч. 1. С. 258–265.
 13. Попович П. В., Шевчук О. С., Матвіїшин А. Й., Лотоцька В. М. Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень у сучасних умовах. *Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки*. 2016. № 2. С. 224–229.
 14. Попович П., Шевчук О., Мурований І. Підвищення ефективності технологій перевезень організаційними шляхами надання транспортних послуг. *Вісник ХНТУСГ*. Харків, 2017. Вип. № 184. С. 124 –130.

References

1. Wang, B., Liu, M. & Gao, S. (2025). Temporal-spatial evolution analysis of carbon emission efficiency in the logistics industry of coastal provinces in China based on the super-efficiency SBM model. *Carbon Balance Manage*, 20, 8 (2025). DOI: 10.1186/s13021-025-00299-z. [in English].
2. Merinova, S. V., Polovenko, L. P. (2018). Imitatsiine modeliuвання v upravlinni lohistychnymy systemamy. [Simulation modeling in logistics systems management].

- Skhidna Yevropa: ekonomika, biznes ta upravlinnia – Eastern Europe: economics, business and management*. Vol. 6 (17). [in Ukrainian].
3. Zinoviev, O. G., S. V. Sharov. (2025). Imitatsiine modeliuвання lohistyky v ahromomu sektori [Simulation modeling of logistics in the agricultural sector]. *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu – Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University*. Vol. 15 (1). DOI: 10.32782/2220-8674-2025-25-1-24. [in Ukrainian].
 4. Fisun, M. T., Kovalchuk, M. V. (2024). Imitatsiine modeliuвання u prohnozuvanni popytu ta optymizatsii zapasiv u lohistychnykh lantsiuhakh [Simulation modeling in demand forecasting and inventory optimization in logistics chains]. *Olviiskyi forum-2024: stratehii krain prychnomorskoho rehionu v heopolitychnomu prostori: materialy mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (m. Mykolaiv, 20-23 chervnia 2024 r.) – Olbia Forum-2024: strategies of the Black Sea region countries in the geopolitical space: materials of the international scientific and practical conference (Mykolaiv, June 20-23, 2024)*. Mykolaiv: Petro Mohyla National University of Kyiv. [in Ukrainian].
 5. Stadnik, Yu. A. (2020). Modeliuвання lohistychnykh protsesiv. Zbirnyk tez dopovidei [Modeling of logistics processes. Collection of abstracts of reports]. *Zbirnyk tez zvitnoi naukovoї konferentsii Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka (m. Lviv, 1-8 liutoho 2020 r.) – Collection of abstracts of the scientific conference of the Ivan Franko National University of Lviv (Lviv, February 1-8, 2020)*. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv. [in Ukrainian].
 6. Taranenko, Yu. V., Fedorenko, I. K. (2016). Imitatsiine modeliuвання lohistychnykh protsesiv [Simulation modeling of logistics processes]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Ekonomika – Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Economics*. Vol. 8 (185). [in Ukrainian].
 7. Marchenko, V. M., Shutuyuk, V. V. (2022). Lohistyka: pidruch [Logistics: textbook]. 2nd ed., supplemented. Kyiv: NUHT. [in Ukrainian].
 8. Vasyliiev, O. L. (2019). Proektuvannya lohistychnykh system [Design of logistics systems: lecture notes]. Kharkiv: UkrDUZT. [in Ukrainian].
 9. Sahand, A. (2023). Imitatsiine modeliuвання lohistychnoi systemy [Simulation modeling of the logistics system]. Kyiv: DTEU. 77 p. [in Ukrainian].
 10. Nikolyyuk P. K. (2023). Modeliuвання system: navchalnyi posibnyk [System Modeling: A Textbook for Higher Education Applicants]. Vinnytsia: DonNU. [in Ukrainian].
 11. Samostyan, V. (2020). Efektyvne vykorystannia pidkhodiv dlia imitatsiinoho modeliuвання lohistychnykh protsesiv. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti [Effective use of approaches for simulation modeling of logistics processes]. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti – Modern technologies in mechanical engineering and transport*. Lutsk. Vol. 2 (15). DOI: 10.36910/automashv2i15.400. [in Ukrainian].
 12. Chorna O. V., Popovych P. V., Mayak M. M. (2023). Pidvyshchennia efektyvnosti lantsiuhiv postavok [Increasing the efficiency of supply chains]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical*

Sciences: Collection of Scientific Works - Kropyvnytskyi: TsNTU. Issue 7(38). Part 1. P. 258-265. [in Ukrainian].

13. Popovych P. V., Shevchuk O. S., Matviyishyn A. Y., Lototska V. M. (2016). Doslidzhennia tendentsii rozvytku rynku vantazhnykh avtomobilnykh perevezhen u suchasnykh umovakh [Research on the trends of the development of the freight road transportation market in modern conditions]. *Visnyk ZhDTU. Seriya: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Zhytomyr State Technological University. Series: Technical Sciences. No. 2. P. 224-229. [in Ukrainian].*
14. Popovych P., Shevchuk O., Murovany I. (2017). Pidvyschennia efektyvnosti tekhnolohii perevezhen orhanizatsiiny my shliakhamy nadannia transportnykh posluh [Increasing the efficiency of transportation technologies by organizational means of providing transport services]. *Visnyk KhNTUSH – Bulletin of the KhNTUSG. Kharkiv, 2017. Issue No. 184. P. 124 -130. [in Ukrainian].*

Статтю отримано 14 серпня 2025 р.

Article received August 14, 2025.