

Potential solutions to these challenges are proposed, including investments in new technologies, expansion of production capacities, and the development of specialized infrastructure.

The article provides detailed case studies of successful hydrogen technology implementations in various countries. In Japan, hydrogen-powered buses in Tokyo demonstrate the environmental and technological advancements achieved. Germany's hydrogen trains by Alstom illustrate the transition from diesel to hydrogen in public transportation, showcasing economic and ecological benefits. South Korea's hydrogen taxis in Seoul highlight the social impact and infrastructural development necessary for widespread adoption. Lastly, California's extensive network of hydrogen fueling stations supports the growing number of hydrogen cars, reflecting a successful model of public-private partnership and government incentives.

Through these case studies, the article emphasizes the transformative potential of hydrogen technologies in creating a sustainable and clean future for transportation. It calls for continued investments in technology, infrastructure, and collaboration between governments and the private sector to overcome existing challenges and fully realize the benefits of hydrogen as a key energy source in the transportation sector.

hydrogen technologies, transportation sector, hydrogen internal combustion engines, fuel cells, engine efficiency

Одержано (Received) 15.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 13.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 519.86:656

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.174-181](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.174-181)

К.М. Березька, доц., канд. техн. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **Н.М. Фалович**, доц., канд. екон. наук

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

e-mail: k.berezka@wuni.edu.ua, oksana_shevchuk84@ukr.net, n.falovych@gmail.com

Ю. Р. Бубняк, асп.

Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка, Тернопіль, Україна, e-mail: Yra6511@gmail.com

Аналіз проблем і математичних методів для їх вирішення в транспортній логістиці

У статті розглядається важливість транспорту для економічного розвитку країни в глобалізованому світі. Транспорт є основою ланцюгів постачання, забезпечуючи ефективне переміщення товарів, матеріалів та людей, що сприяє глобальній торгівлі, економічному зростанню, культурному обміну та соціальній інтеграції. Ефективність транспортних технологій є ключовим фактором успішної логістики, де важливу роль відіграють математичні методи. Метою статті є аналіз сучасних проблем у транспортній логістиці та застосування математичних методів для їх вирішення. Розглядаються такі проблеми: оптимізація маршрутів, моделювання ланцюга постачання, прогнозування попиту, впровадження інновацій у транспортні технології, ефективне складування та інвентаризація. Застосування методів лінійного та динамічного програмування, симуляційного моделювання, евристичних методів, генетичних алгоритмів та методів машинного навчання є ключовими для підвищення продуктивності та оптимізації логістичних процесів.

математичні методи, транспортна логістика, транспортні технології, прогнозування попиту, ланцюг постачання, оптимізація маршрутів, інновації в транспортних технологіях

Постановка проблеми. В глобальному світі транспорт є невід'ємною частиною економічного розвитку країни [1]. Транспорт є основою для функціонування ланцюжків

постачання, що дозволяє ефективно переміщувати товари та матеріали по всьому світу, підтримуючи глобальну торгівлю та економічний розвиток. Транспорт забезпечує мобільність людей, що сприяє культурному обміну та взаєморозумінню. Ефективний транспорт дозволяє підприємствам легко переміщувати сировину та готові продукти, сприяючи розвитку промисловості та виробництва; забезпечує доступ до освіти, медичних послуг та інших суспільних ресурсів, сприяючи соціальній інтеграції та зменшенню соціальних відмінностей. Тому, ефективність та оптимізація транспортних технологій стає ключовим фактором для досягнення успіху в логістиці. У цьому контексті, використання математичних методів стає важливим інструментом для досягнення оптимальності та ефективності у всьому логістичному ланцюгу. Це не означає, що в сфері управління логістикою треба використовувати математичні методи як строгий шаблон, і чітко йти визначеними кроками, але підходити до цього процесу творчо.

Метою статті є аналіз проблем в транспортній логістиці та використання математичних методів для їх вирішення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасні реалії транспортної логістики спричинили такі проблеми [2]:

- 1) оптимізація маршрутів [3-8];
- 2) моделювання ланцюга постачання [9];
- 3) прогнозування попиту [10, 11];
- 4) впровадження інновацій в транспортних технологіях [12];
- 5) ефективне складування та інвентаризація [13].

Розглянемо кожну із проблем детальніше.

1) Оптимізація маршрутів у транспортній логістиці є ключовим елементом для забезпечення ефективності та економії ресурсів у процесі перевезень. Ця проблема полягає в виборі найефективніших шляхів для перевезення вантажів, що дозволяє мінімізувати витрати часу та пального, знизити витрати на транспортні послуги та покращити якість обслуговування клієнтів.

2) Моделювання ланцюга постачання – це комплексний підхід до оптимізації всіх етапів виробництва та постачання товарів чи послуг, що включає в себе різноманітні аспекти, від стратегічного планування до ефективного контролю та аналізу. Моделювання включає такі кроки:

- стратегічне проектування ланцюга постачання;

На цьому етапі визначається оптимальна структура ланцюга постачання, включаючи виробників, постачальників і дистриб'юторів та вибираються стратегічні партнери для забезпечення стабільності та конкурентоспроможності.

- оптимізація виробництва;

Цей етап полягає у визначенні оптимальних процесів виробництва та їхній автоматизації для зниження витрат і збільшення продуктивності, а також в оптимізації рівнів запасів для уникнення надмірного або недостатнього утримання товарів.

- ефективне планування постачань та дистрибуції;

На цьому етапі необхідно:

- точно планувати обсяги та строки постачань;

- адаптуватися до змін в реальному часі для оптимізації постачань та реакції на ринкові зміни.

- управління відносинами з постачальниками та замовниками;

Управління відносинами з постачальниками та замовниками полягає у розвитку ефективних взаємин для забезпечення найвигідніших умов постачання та у забезпеченні високого рівня обслуговування для задоволення потреб клієнтів.

- впровадження інновацій та цифрових технологій.

Для покращення прозорості та ефективності ланцюга постачання актуальним є використання інноваційних технологій, таких як інтернет речей (IoT) та блокчейн, а також аналіз даних [2, 14].

3) Прогнозування попиту є важливою стратегічною складовою логістики та управління ланцюгом постачання. Воно дозволяє підприємствам ефективно планувати виробництво, постачання та розподіл товарів.

Прогнозування включає в себе:

- збір та аналіз історичних даних про продажі (обсяги продажів в певні періоди, сезонність, тенденції та вплив зовнішніх факторів);
- визначення факторів, що впливають на попит. Ідентифікація зовнішніх чинників, таких як економічні зміни, зміни у смаках споживачів, маркетингові кампанії, що можуть впливати на попит;
- вибір методів прогнозування (кількісні (кількісні моделі, часові ряди) та якісні (експертні оцінки, фокус-групи) для точного прогнозування;
- оцінка невизначеності та ризиків. Врахування можливих сценаріїв та оцінка ризиків, пов'язаних з економічними чи іншими невизначеностями;
- інтеграція технологій. Використання сучасних аналітичних інструментів та технологій, таких як машинне навчання, для покращення точності прогнозів;
- постійне оновлення та корекція. Процес прогнозування повинен бути гнучким, постійно оновлюватися і коректуватися на основі актуальних даних та змін у середовищі.

4) Інновації в транспортних технологіях приводять до фундаментальних змін у сфері перевезень та логістики. Ключовими аспектами цього напрямку розвитку є:

- електричні транспортні засоби [15]. Швидкий розвиток технологій батарей дозволяє створювати ефективні та довгострокові електромобілі, зменшуючи залежність від традиційного пального;
- автономні транспортні засоби [16]. Впровадження технологій штучного інтелекту та сенсорів дозволяє створювати автономні автівки, що можуть самостійно переміщатися без участі водія;
- гіперзвукові пасажирські літаки [17]. Розробка гіперзвукових транспортних засобів, які можуть летіти з великою швидкістю, значно скорочуючи час подорожей;
- високошвидкісний залізничний транспорт [18]. Він забезпечить високу швидкість та ефективність перевезень на залізниці;
- автономні дрони [19]. Використання дронів дозволить швидко та точну доставку товарів, зокрема в важкодоступні або віддалені місця;
- спрощене відстеження [14, 20]. Впровадження IoT для відстеження руху товарів, контролю умов транспортування та оптимізації маршрутів;
- використання альтернативних палив [21]. Розвиток електричних, водневих та сонячних транспортних засобів дасть зменшення викидів;
- блокчейн у логістиці [14, 22]. Використання технології блокчейн забезпечує безпеку та відкритість у логістичних операціях.

5) Наступною проблемою в транспортній логістиці є ефективне складування та інвентаризація [2]. Ефективне складування та інвентаризація визначають конкурентоспроможність підприємств. Розглянемо ключові аспекти оптимізації цих процесів:

- Автоматизовані системи управління складом (WMS).

Застосування систем WMS дозволяє вести облік товарів у реальному часі, зменшуючи помилки та спрощуючи інвентаризацію.

- Технології штучного інтелекту (ШІ).

Алгоритми ШІ точно прогнозують попит, що допомагає управляти запасами та зменшує ризик перепродажу або нестачі товарів.

- RFID Технології.

Впровадження RFID міток дозволяє швидко ідентифікувати та відстежувати товари, полегшуючи процеси приймання та видачі.

- Оптимізація простору складу.

Використання сучасних технологій приводить до оптимізації розташування товарів на складі, максимізуючи використання простору та зменшуючи час пошуку.

- Ефективна комплектація замовлень.

Найпоширеніші системи Pick-to-Light та Pick-to-Voice надають операторам точні інструкції для збору товарів, зменшуючи помилки та підвищуючи швидкість обслуговування замовлень.

- Контроль термінів придатності.

Здійснюється завдяки застосуванню моніторингових систем, які відслідковують терміни придатності товарів та надають автоматичні повідомлення для вчасного списання або зниження цін.

- Інтеграція з постачальниками та клієнтами.

Впроваджуються електронні системи замовлення для автоматизації взаємодії з постачальниками та клієнтами, що спрощує управління запасами.

- Аналіз великих обсягів даних в інвентаризації.

Використання аналізу великих обсягів даних дозволяє виявлення тенденцій, оптимізацію стратегій запасів та прогнозування попиту.

- Енергоефективність складських приміщень.

Використання енергоефективних систем опалення, вентиляції та кондиціонування приводить до зменшення витрат та впливу на навколишнє середовище.

- Інноваційні засоби перевезення в складі.

Застосування автономних робочих модулів для пересування товарів на складі зменшує залежність від ручної праці.

Ефективне складування та інвентаризація не лише підвищують ефективність ланцюга постачання, але й сприяють зниженню витрат, уникненню помилок та створенню гнучких та конкурентоспроможних бізнес-процесів.

Для подолання сучасних проблем у транспортній логістиці широко використовуються математичні методи, які допомагають ефективно підвищувати загальну продуктивність системи.

Розглянемо кожен із проаналізованих проблем і приведемо математичні методи, які можна використати для їх розв'язання.

Математичні методи оптимізації маршрутів включають алгоритми лінійного програмування, динамічне програмування, евристичні методи, генетичні алгоритми та моделі теорії графів [6, 23, 24].

Моделювання ланцюга постачання здійснюють системи лінійного програмування, симуляційне моделювання, методи стохастичного програмування та динамічне програмування, які дозволяють аналізувати та оптимізувати всі етапи постачання від виробництва до кінцевого споживача [23, 24].

Математичні методи прогнозування попиту включають часові ряди, регресійний аналіз, методи машинного навчання, такі як нейронні мережі та дерева рішень, оцінку ризиків, а також байєсівські моделі, які дозволяють точно передбачати майбутні потреби споживачів на основі історичних даних і поточних тенденцій [23-25].

Математичні методи у впровадженні інновацій в транспортних технологіях включають оптимізацію алгоритмів для автономних транспортних засобів, аналіз

великих даних для покращення транспортних мереж, моделювання та симуляцію для тестування нових технологій, а також методи математичної статистики для оцінки ефективності впроваджених інновацій [23-25].

Математичні методи у ефективному складуванні та інвентаризації включають алгоритми оптимізації для розподілу складських приміщень, моделі прогнозування попиту для точного планування запасів, методи лінійного та динамічного програмування для управління запасами, а також симуляційні моделі для аналізу та покращення складських операцій [23-25].

Рис. 1 узагальнює проблеми транспортної логістики та математичні методи, що допомагають їх розв'язуванню.

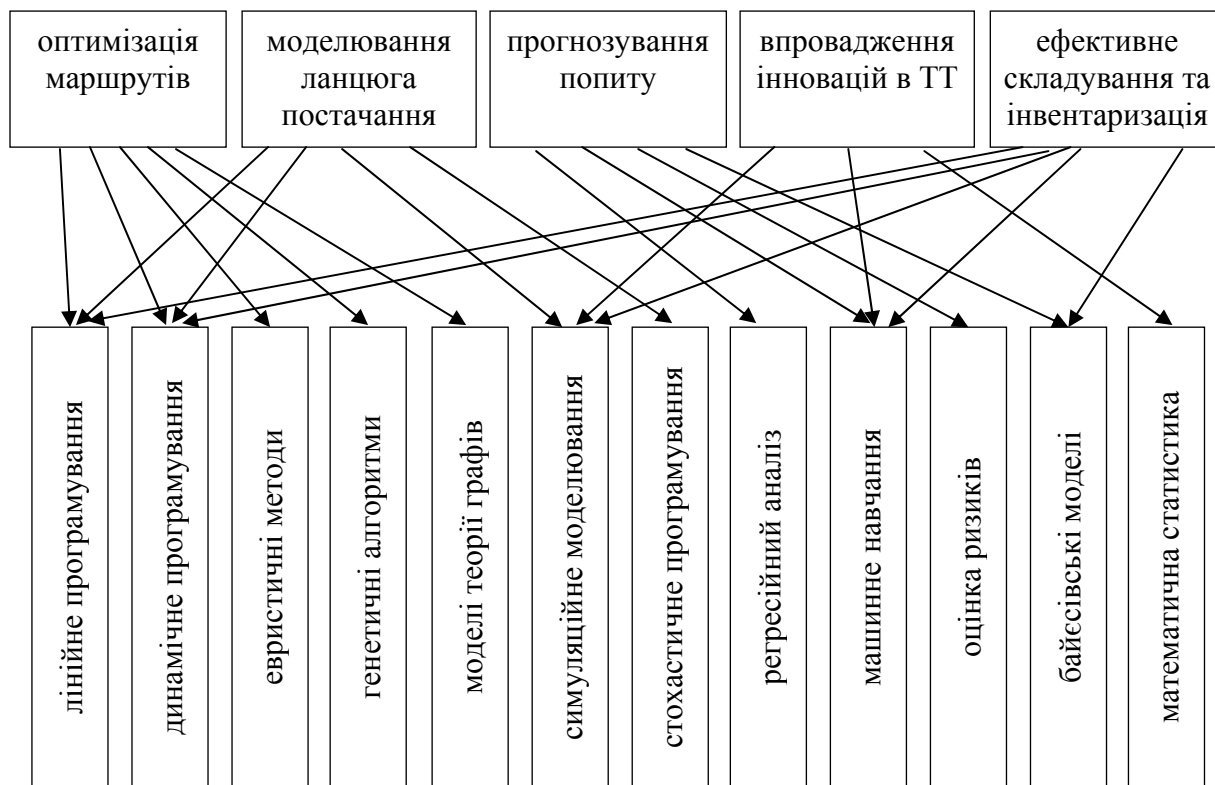


Рисунок 1 - Сучасні проблеми транспортної логістики та математичні методи, що допомагають їх розв'язуванню

Джерело: розроблено авторами

Як видно з рис. 1 найбільш затребуваними методами є лінійне програмування, яке відноситься до категорії статичних методів оптимізації, динамічне програмування, а також симуляційне моделювання та методи машинного навчання.

Висновки. У роботі проаналізовано проблеми транспортної логістики та її взаємозв'язок із математичними методами, що їх розв'язують. Виділено методи, які найчастіше використовуються у транспортній логістиці: лінійне і динамічне програмування, симуляційне моделювання, методи машинного навчання. З аналізу проблем транспортної логістики, видно, що сучасні технології, такі як ШІ, інтернет речей, блокчейн та аналіз великих даних, стають ключовими елементами оптимізації логістичних вирішень. Впровадження інновацій у транспортно-логістичних системах є необхідним для вирішення проблем та забезпечення конкурентоспроможності. Зміни у світі економіки, технологій та споживчих уподобань визначають необхідність постійних змін та інновацій в транспортній логістиці.

Список літератури

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: веб-сайт. URL: https://publications.chamber.ua/2017/Infrastructure/UDD/National_Transport_Strategy_2030.pdf (дата звернення 05.06.2024).
2. Транспорт та логістика: сучасні виклики та перспективи розвитку (Transport & Logistics: Current Challenges and Prospects): матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Одеса, 18 листопада 2021 р. / [під наук ред. Ільченко С. В.]; НАНУ, МОНУ та ін. – Одеса: ДУ ІРЕЕД НАН України, 2021. 166 с.
3. Оптимізація мережі транспорту загального користування на прикладі м. Черкаси / Біліченко В.В. та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2021. №1(13). С. 13-22 DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-13-1-13-22>
4. Порівняння методів розв'язання задачі оптимального завантаження транспортного засобу / Андрейцев А.Ю. та ін. *Водний транспорт*. 2020. Вип. 2(30). С. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.2.30.07
5. Концептуальні основи модернізації транспортної інфраструктури середніх міст в Україні / Шевчук О.С. та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. № 1 (22). С. 369-377. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1380>
6. Визначення рівня завантаження зупинок громадського транспорту на основі кластерного аналізу / Шевчук О.С. та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. № 1(22). С. 357-367. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1379>.
7. Дослідження стану транспортної інфраструктури міста Тернополя / Попович П.В. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 7(38), Ч. II. 2023. С. 243-249. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.243-249](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.243-249)
8. Дослідження безпеки дорожнього руху у м. Тернополі / Попович П.В. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 7(38), Ч. II. 2023. С. 250-256. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.250-256](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.250-256)
9. Куруджи Ю. В., Ромах В. Л. Моделювання ланцюгів поставок портовим оператором в умовах мультимодальності. *Вісник ХНТУ*. 2022. № 3(82). С.103-111 <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.3.14>
10. Біліченко В. В., Котенко В. І. Підходи до моделювання попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2019. №2(10). С. 4-9. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-4-9>
11. Методи прогнозування вантажних перевезень в логістиці / Шапенко Є. М. та ін. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2023. Vol. 2, No. 4. Pp. 79-86. doi: 10.46299/j.isjea.20230204.09
12. Кушнір Л. В., Яковлева О. Б. Основні тенденції розвитку інноваційних технологій у транспортно-логістичній сфері. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 42. С. 42-73. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-73>
13. Марченко В.М., Шутюк В.В. Логістика: підручник. К.: Видавничий дім «Артек», 2018. 312 с.
14. П'ять ключових технологій для цифрової трансформації в логістиці: веб-сайт. URL: <https://www.everest.ua/pyat-klyuchovyh-tehnologij-dlyaczufrovoyi-transformacziyi-v-logistyczi/> (дата звернення 04.06.2024).
15. Електротранспорт: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електротранспорт> (дата звернення 04.06.2024).
16. Автомобільна автоматизація: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автомобільна_автоматизація (датазвернення 05.06.2024).
17. У США презентували гіперзвуковий літак, здатний перетнути Тихий океан за годину: веб-сайт. URL: https://cfts.org.ua/news/2022/06/14/u_ssha_prezentuvali_giperzvukoviy_litak_zdatniy_peretnuli_tikhiiy_okean_za_godinu_70609 (датазвернення 06.06.2024).
18. Швидкісна залізниця: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Швидкісна_залізниця (дата звернення 06.06.2024).
19. Використання дронів під час воєнного часу: поради для цивільних: веб-сайт. URL: <https://cedem.org.ua/consultations/vykorystannya-droniv/> (датазвернення 07.06.2024).
20. Використання технологій Інтернету речей (IoT) для оптимізації логістичних процесів: веб-сайт. URL: <https://cargofy.ua/uk/blog/vikoristannya-tehnologii-internetu-rechei-iot-dlya-optimizaciji-logistichnih-procesiv> (дата звернення 08.06.2024).
21. Альтернативні палива для транспорту: веб-сайт. URL: <https://dieret.rea.org.ua/uk/alternative-fuel.html> (дата звернення 08.06.2024).

22. Технологія блокчейн в логістиці: веб-сайт. URL: <https://dolphincargo.com.ua/ua/tehnologiya-blokchejn-v-logistici/> (дата звернення 08.06.2024).
23. Hamdy A. Taha. Operations Research: An Introduction, 10th Edition, Boston: Pearson, 2017, 848 pages.
24. Економіко-математичне моделювання: навч. посіб. / за ред. О. Т. Івашука. Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008. 704 с.
25. Машинне навчання: навч. посіб. / Басюк Т.М. та ін. Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2024. 330 с.

References

1. Natsional'na transportna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku [National transport strategy of Ukraine for the period until 2030: website]. Retrieved from: https://publications.chamber.ua/2017/Infrastructure/UDD/National_Transport_Strategy_2030.pdf (Last accessed: 05.06.2024) [in Ukrainian].
2. Transport ta lohistyka: suchasni vyklyky ta perspektyvy rozvytku [Transport & Logistics: Current Challenges and Prospects]: materialy Vseukrains'koi naukovo-praktychnoi konferentsii, m. Odesa, 18 lystopada 2021 r. / [pid nauk red. Il'chenko S. V]; NANU, MONU ta in. Odesa: DU IREED NAN Ukrainy, 2021. 166 p. [in Ukrainian].
3. Bilichenko, V.V. et al. (2021). Optymizatsiia merezhi transportu zahal'noho korystuvannia na prykladi m. Cherkasy [Optimization of the transport network by the case of Cherkasy city]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu - Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 13(1), 13–22 [in Ukrainian].
4. Andrejtsev, A.Yu. et al. (2020). Porivniannia metodiv rozv'iazannia zadachi optymal'noho zavantazhennia transportnoho zasobu [Comparison of methods of solving the problem of optimal loading of a vehicle]. *Vodnyj transport - Water transport*, 2(30), 59–70 [in Ukrainian].
5. Shevchuk, O.S. et al. (2024). Kontseptual'ni osnovy modernyzatsii transportnoi infrastruktury serednikh mist v Ukraini [Conceptual basis of modernization of transport infrastructure of medium cities in Ukraine]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti - Advances in mechanical engineering and transport*, 1(22), 369-377 [in Ukrainian].
6. Shevchuk, O.S. et al. (2024). Vyznachennia rinvnia zavantazhennia zupynok hromads'koho transportu na osnovi klasternoho analizu [Determining the level of loading of public transport stops based on cluster analysis]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti - Advances in mechanical engineering and transport*, 1(22), 357-368 [in Ukrainian].
7. Popovych, P.V. et al. (2023). Doslidzhennia stanu transportnoi infrastruktury mista Ternopolia [Study of the State of Transport Infrastructure of the City of Ternopol]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 7(38), II, 274-283 [in Ukrainian].
8. Popovych, P.V. et al. (2023). Doslidzhennia bezpeky dorozhn'oho rukhu u m. Ternopoli [Road Traffic Safety Research in Ternopol]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 7(38), II, 250-256 [in Ukrainian].
9. Kurudzhy, Yu. V. & Romakh, V. L. (2022). Modeliuvannia lantsiuhiv postavok portovym operatorom v umovakh mul'tymodal'nosti [Modeling of supply chains by the port operator under the conditions of multimodality]. *Visnyk KhNTU - Bulletin of KhNTU*, 3(82), 103-111 [in Ukrainian].
10. Bilichenko, V.V. & Kotenko, V.I. (2019). Pidkhody do modeliuvannia popytu na vantazhni perevezennia u zernovij lohistytsi [Approaches to demand modeling for goods transportation in corn logistics]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu - Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 10(2), 4–9 [in Ukrainian].
11. Shapenko, Ye.M. et al. (2023). Metody prohnozuvannia vantazhnykh perevezen' v lohistytsi [Methods of forecasting freight transportation in logistics]. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2(4), 79–86 [in Ukrainian].
12. Kushnir, L. & Yakovleva, O. (2022). Osnovni tendentsii rozvytku innovatsijnykh tekhnologij u transportno-lohistrychnij sferi [The main trends in the development of innovative technologies in the transport and logistics sector]. *Ekonomika ta suspil'stvo - Economy and Society*, (42), 42-73 [in Ukrainian].
13. Marchenko, V.M. & Shutiuk, V.V. (2018). *Lohistyka [Logistics]*. K.: Vydavnychyj dim «Artek» [in Ukrainian].
14. P'iat' kliuchovykh tekhnologij dlia tsyfrovoi transformatsii v lohistytsi: veb-sajt [Five key technologies for digital transformation in logistics: website]. Retrieved from: <https://www.everest.ua/pyat-klyuchovyh-tehnologij-dlyacyfrovoyi-transformatsiyi-v-logistyczi/> (Last accessed: 04.06.2024) [in Ukrainian].
15. Elektrotransport: veb-sajt [Electric transport: website]. Retrieved from: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електротранспорт> (Last accessed: 04.06.2024) [in Ukrainian].
16. Avtomobil'na avtomatyzatsiia: veb-sajt [Automotive automation: website]. Retrieved from: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автомобільна_автоматизація (Last accessed: 05.06.2024) [in Ukrainian].

17. U SShA prezentovali hiperzvukoviy litak, zdatnyj peretnuty Tykhyj okean za hodynu: veb-sajt [A hypersonic plane capable of crossing the Pacific Ocean in an hour was presented in the USA: website]. Retrieved from: https://cfts.org.ua/news/2022/06/14/u_ssha_prezentovali_giperzvukoviy_litak_zdatnyj_peretnuli_tikhyj_okean_za_godinu_70609 (Last accessed: 06.06.2024) [in Ukrainian].
18. Shvydkisna zaliznytsia: veb-sajt [High-speed railway: website]. Retrieved from: https://uk.wikipedia.org/wiki/Швидкісна_залізниця (Last accessed: 06.06.2024) [in Ukrainian].
19. Vykorystannia droniv pid chas voiennoho chasu: porady dlia tsyvil'nykh: veb-sajt [Wartime Use of Drones: Advice for Civilians: website]. Retrieved from: <https://cedem.org.ua/consultations/vykorystannya-droniv/> (Last accessed: 07.06.2024) [in Ukrainian].
20. Vykorystannia tekhnolohij Internetu rechej (IoT) dlia optymizatsii lohistychnykh protsesiv: veb-sajt [Use of Internet of Things (IoT) technologies to optimize logistics processes: website]. Retrieved from: <https://cargofy.ua/uk/blog/vikorystannya-tehnologii-internetu-rechei-iot-dlya-optimizaciji-logistichnih-procesiv> (Last accessed: 08.06.2024) [in Ukrainian].
21. Al'ternatyvni palyva dlia transportu: veb-sajt [Alternative fuels for transport: website]. Retrieved from: <https://dieret.rea.org.ua/uk/alternative-fuel.html> (Last accessed: 08.06.2024) [in Ukrainian].
22. Tekhnolohiia blokchejn v lohistytsi: veb-sajt [Blockchain technology in logistics: website]. Retrieved from: <https://dolphincargo.com.ua/ua/tehnologiya-blokchejn-v-logistici/> (Last accessed: 08.06.2024) [in Ukrainian].
23. Taha, Hamdy A. (2017). Operations Research: An Introduction, 10th Edition, Boston: Pearson, 848.
24. Ivashchuk, O. T. (Eds.) (2008). *Ekonomiko-matematychni modeliuvannia [Economic and mathematical modeling]*. Ternopil': TNEU «Ekonomichna dumka» [in Ukrainian].
25. Basiuk, T.M. et al. (2024). *Mashynne navchannia [Machine learning]*. L'viv: Vydavnytstvo «Novyj Svit – 2000» [in Ukrainian].

Kateryna Berezka, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.,

Natalia Falovykh, Assoc. Prof., Ph.D econ. sci.,

West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Yuriy Bubnyak, post-graduate

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ternopil, Ukraine

Analysis of problems and mathematical methods for their solution in transport logistics

The article examines the importance of transportation for a country's economic development in a globalized world. Transportation is the foundation of supply chains, ensuring the efficient movement of goods, materials, and people, which contributes to global trade, economic growth, cultural exchange, and social integration. The efficiency of transportation technologies is a key factor in successful logistics, where mathematical methods play an important role. The aim of the article is to analyze contemporary issues in transportation logistics and the application of mathematical methods to solve them.

The paper addresses issues such as route optimization, supply chain modeling, demand forecasting, the implementation of innovations in transportation technologies, efficient warehousing, and inventory management. Route optimization is critically important for reducing transportation costs and increasing transportation efficiency, which directly impacts economic indicators. Supply chain modeling helps to understand and improve the interaction between different participants in the logistics process, contributing to the creation of more resilient and adaptive supply systems. Demand forecasting is necessary for resource planning and avoiding shortages or surpluses of goods. The implementation of innovations in transportation technologies, such as automation and the use of drones, opens new opportunities for enhancing the efficiency of logistics processes.

The application of linear and dynamic programming methods allows for finding optimal solutions under complex conditions of uncertainty. Simulation modeling helps study various scenarios and their impact on logistics processes. Heuristic methods and genetic algorithms are powerful tools for finding approximate solutions in cases where exact methods are inefficient. Machine learning methods enable the processing of large volumes of data and making predictions based on historical data, significantly improving the accuracy of managerial decisions.

The article's conclusions emphasize the need for a comprehensive approach to solving transportation logistics problems, which includes the integration of the latest mathematical methods and innovative technologies to achieve high efficiency and competitiveness in the modern conditions of globalization.

mathematical methods, transport logistics, transport technologies, demand forecasting, supply chain, route optimization, innovations in transport technologies

Одержано (Received) 17.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 16.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024