

УДК 656.13:658.7:004.8

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.1/43>

Іванченко Д.А.

<https://orcid.org/0000-0002-3024-3930>

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Турпак С.М.

<https://orcid.org/0000-0003-3200-8448>

Національний університет «Запорізька політехніка»

Острогляд О.О.

<https://orcid.org/0000-0002-8496-3271>

Національний університет «Запорізька політехніка»

Мішнєв А.С.

<https://orcid.org/0000-0007-7687-2367>

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Скляренко Ю.О.

<https://orcid.org/0000-0007-8467-6754>

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

СТРАТЕГІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПЕРІОД ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ

У статті розглянуто актуальну науково-прикладну проблему оптимізації автомобільних перевезень швидкопсувних вантажів в умовах воєнних викликів, що характеризуються високим рівнем невизначеності, нестабільністю транспортної інфраструктури, безпековими загрозами та жорсткими часово-температурними обмеженнями доставки. Обґрунтовано, що традиційні логістичні підходи та статичні моделі планування маршрутів не забезпечують необхідного рівня адаптивності й надійності в умовах активних бойових дій, руйнування дорожньої мережі, запровадження комендантської години, перебоїв зв'язку та впливу засобів радіоелектронної боротьби.

Метою дослідження є розроблення стратегії оптимізації автомобільних перевезень швидкопсувних вантажів на основі інтеграції інтелектуальних технологій, що дозволяє одночасно забезпечити збереження якості продукції, мінімізацію логістичних ризиків і підвищення безпеки персоналу в умовах воєнного стану. Для досягнення поставленої мети використано системний підхід, методи аналізу та узагальнення наукових публікацій, концепції інтелектуальних транспортних систем, елементи теорії оптимізації, а також принципи сценарного моделювання кризових ситуацій.

У роботі запропоновано комплексну стратегію, що базується на принципах динамічності, автономності та інтеграції даних. Розроблено концептуальну архітектуру інтелектуальної логістичної системи, яка поєднує алгоритми штучного інтелекту для динамічної маршрутизації з урахуванням безпекових ризиків, IoT-моніторинг холододового ланцюга, гібридні навігаційні рішення в умовах втрати GPS-сигналу, а також елементи цифрових двійників і захищеного обміну даними. Запропоновано алгоритм реагування на типові кризові сценарії (повітряна тривога, втрата зв'язку, поломка рефрижераторного обладнання), що дозволяє підтримувати прийняття оперативних рішень у реальному часі.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні інтегрованої стратегії оптимізації перевезень швидкопсувних вантажів з пріоритетизацією безпекових факторів над класичними критеріями мінімізації часу та витрат, а також у поєднанні інтелектуальних алгоритмів з офлайн-механізмами функціону-



вання логістичних систем. Практична значимість отриманих результатів полягає у можливості їх використання транспортними та логістичними операторами для зниження втрат продукції, підвищення стійкості холодових ланцюгів постачання та забезпечення безпеки перевезень у надзвичайних умовах. Запропоновані підходи можуть бути адаптовані як для комерційних, так і для гуманітарних перевезень у кризових регіонах.

Ключові слова: транспорт, автомобільний транспорт, інтелектуальна логістична технологія оперативного управління перевезеннями, оперативне планування перевезень.

Постановка проблеми. Проблема науково-прикладного дослідження полягає у загостренні протиріччя між необхідністю суворого дотримання часових та температурних режимів доставки швидкопсувних вантажів та критичною нестабільністю транспортної системи в умовах війни. Традиційні методи логістичного управління, що базуються на статичних моделях та історичних даних, виявляються неефективними в умовах постійних змін безпекової ситуації, руйнування доріг та непередбачуваних затримок на блокпостах. Існуючі системи маршрутизації часто не враховують специфічні "воєнні" змінні, такі як зони артилерійських обстрілів, мінна небезпека або раптові зміни комендантської години. Це призводить до збільшення часу транспортування, псування продукції, зростання фінансових збитків та загрози життю персоналу. Відсутність інтегрованого підходу до використання інтелектуальних технологій не дозволяє логістичним операторам оперативно реагувати на ці виклики. Окремою проблемою є розрізненість інформаційних потоків, коли дані про стан доріг, черги та військові загрози не обробляються в єдиній системі прийняття рішень. Також спостерігається недостатня адаптивність алгоритмів до критеріїв виживання вантажу, де пріоритет безпеки може конфліктувати з вимогою швидкості. Водночас зростають вимоги до прозорості ланцюгів постачання гуманітарних та продовольчих вантажів. Необхідно вирішити задачу створення механізму, який дозволить балансувати між мінімізацією ризиків та максимізацією ефективності доставки в режимі реального часу. Відтак, виникає потреба у розробці науково обґрунтованої стратегії, що базується на синергії логістичних знань та сучасних ІТ-рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] розглядається класична задача маршрутизації для швидкопсувних вантажів, де автор акцентує на впливі часу доставки на якість продукції. Запропонована модель враховує специфічні обмеження температури та часу, що підвищує її прикладну цінність. Автор демонструє, що стандартні алгоритми VRP не забезпечують належної ефективності для таких вантажів. Про-

ведено аналіз різних стратегій оптимізації, включаючи евристичні підходи.

У роботі [2] запропоновано інноваційний підхід до оптимізації ланцюгів постачання швидкопсувних товарів, заснований на цифрових двійниках. Модель забезпечує реальний час моніторингу та адаптації до змін у попиті й умовах транспортування. Автори наголошують на важливості стійкості систем у непередбачуваних умовах. Цифровий двійник дозволяє прогнозувати деградацію продукції та оптимізувати маршрути в режимі онлайн.

У дослідженні [3] представлено бі-цільову модель маршрутизації, яка поєднує мінімізацію логістичних витрат і підвищення задоволеності клієнтів. Автори враховують багатоперіодичність процесу доставки, що робить модель ближчою до реальних умов. Вони використовують просунуті методи оптимізації для балансування суперечливих критеріїв. Модель демонструє переваги у підвищенні ефективності планування. Результати показують, що клієнт-орієнтована логістика має істотний вплив на конкурентоспроможність підприємств.

Дослідження [4] присвячене задачі маршрутизації на перевантажених транспортних мережах із урахуванням деградації швидкопсувних продуктів. Автори аналізують відмінності між альтернативними маршрутами залежно від ступеня заторів. Модель дозволяє адаптивно обирати найкращий шлях у динамічних дорожніх умовах. Це значно знижує ризики втрати якості продукції.

У статті [5] проаналізовано динамічні навантаження на напіввагон під час його фіксації в'язким зв'язком на палубі порома. Автори створили математичну модель взаємодії вагона й палуби під час хитами судна. Дослідження виявило критичні режими роботи, що спричиняють пікові навантаження. Запропоновані рекомендації дозволяють підвищити безпеку перевезень.

Стаття [6] присвячена оцінці міцності несівної конструкції напіввагона з круглих труб під час перевезень поромом. Автори використовують чисельне моделювання для визначення напружено-деформованого стану конструкції. Аналіз показав потенційні зони ризику та можливі місця

втомних пошкоджень. Дослідження має прикладне значення для підвищення надійності рухомого складу.

Автори статті [7] запропонували екологічно орієнтовану модель маршрутів для швидкопсувних товарів із врахуванням трафіку. Автори розглядають стійкість і надійність постачань у складних дорожніх умовах. Оптимізаційний підхід поєднує мінімізацію викидів CO₂ та скорочення часу доставки. Результати підкреслюють роль зелених логістичних рішень у сучасних ланцюгах постачання. Дослідження демонструє, що екологічні та економічні цілі можуть бути збалансовані.

У статті [8] описано впровадження сталих моделей постачання з метою забезпечення якості та безпеки харчових продуктів. Автори аналізують польові експерименти, що підкреслюють важливість інтеграції сталих практик. Модель підвищує контроль за швидкопсувними товарами у складних умовах. Значну увагу приділено оцінці ризиків та їх мінімізації.

Дослідники [9] досліджують рішення щодо повторної маршрутизації транспортних засобів, що перевозять швидкопсувні вантажі. Автори підкреслюють важливість оперативного реагування на зміни дорожніх ситуацій. Використано алгоритмічні підходи для швидкого пошуку нових маршрутів. Дослідження показує, що навіть невеликі затримки сильно впливають на збереження товарів, і дозволяють знизити втрати.

В дослідженні [10] аналізують перспективи розвитку відновлюваної енергетики в морській галузі. Автори досліджують технологічні та екологічні аспекти інтеграції ВДЕ у морські перевезення. Розглянуто можливості підвищення енергоефективності суден. Модель показує, що стійкі енергетичні рішення знижують вплив на довкілля.

У статті [11] розглянуто параметри бортових ємнісних накопичувачів енергії для підземного рухомого складу. Автори аналізують як теоретичні, так і практичні аспекти роботи систем. Було визначено критерії оптимального вибору ємності. Дослідження показало значні можливості підвищення енергоефективності транспорту.

Науковці [12] розробили багатоперіодичну модель маршрутизації для екстрених поставок швидкопсувних матеріалів. Запропоновано покращений алгоритм оптимізації на основі модифікованого whale optimization. Модель дозволяє враховувати невизначеність попиту. Результати демонструють високу ефективність при реагуванні на надзвичайні ситуації. Автори підкреслю-

ють важливість швидкого обчислення оптимальних маршрутів.

У роботі [13] представлено нечітку мультиоб'єктивну модель маршрутизації та розкладання доставки у зонах лиха. Використано гібридний метод оптимізації на базі мурашиних алгоритмів. Модель враховує багатоперіодичність і кілька критеріїв. Автори демонструють ефективність підходу у складних умовах невизначеності. Результати корисні для планування гуманітарних операцій.

Автор [14] аналізує стійкість холодних ланцюгів постачання для швидкопсувної продукції. Автор розглядає екологічні, технологічні та управлінські аспекти. Значну увагу приділено впливу порушень температурного режиму. Запропоновані шляхи підвищення стійкості логістичних систем.

В роботі [15] досліджують гібридну систему передавання даних для безпілотних надводних апаратів. Автори аналізують роботу системи в умовах перешкод та завад. Запропонована архітектура забезпечує високу надійність комунікації. Дослідження доводить її ефективність шляхом моделювання та експериментів.

Аналіз фахової літератури та останніх публікацій засвідчив, що питанням визначення стратегії оптимізації автомобільних перевезень швидкопсувних вантажів за допомогою інтелектуальних технологій у період воєнних викликів не приділено достатньої уваги. Більшість існуючих досліджень фокусуються або на загальних аспектах військової логістики, або на технологіях "розумного транспорту" в стабільних мирних умовах. Окремі праці розглядають проблему холодних ланцюгів, проте ігнорують специфічні ризики, пов'язані з активними бойовими діями та руйнуванням інфраструктури. Відсутні комплексні методики, які б інтегрували алгоритми штучного інтелекту для динамічної корекції маршрутів з урахуванням фактору фізичної безпеки водіїв та вантажу.

Постановка завдання. Метою науково-прикладного дослідження є розробка та обґрунтування стратегії оптимізації автомобільних перевезень швидкопсувних вантажів, що базується на інтеграції інтелектуальних технологій та адаптивних алгоритмів управління. Це дозволить забезпечити збереження якості продукції, мінімізувати ризики втрат та підвищити безпеку транспортних процесів в умовах невизначеності воєнного стану. Досягнення мети передбачає створення інструментарію для прийняття динамічних логістичних рішень з урахуванням безпекових, часових та економічних факторів.

Виклад основного матеріалу. Запропонована стратегія: базується на трьох принципах: динамічність (миттєва реакція на зміни), автономність (здатність працювати без зв'язку) та інтеграція даних (об'єднання військових та цивільних даних).

1. Аналіз ключових викликів воєнного часу. Перед впровадженням технологій необхідно розуміти специфічні бар'єри: фізичні перешкоди: зруйновані мости, блокпости, заміновані узбіччя; часові обмеження: комендантська година (вантажівка має зупинитися), повітряні тривоги; технологічні загрози: РЕБ (радіоелектронна боротьба), що глушить GPS-сигнал, перебої з мобільним зв'язком; ризики псування: затримка на кордоні або блокпості може призвести до розморожуван.

2. Технологічні рішення. Для вирішення цих проблем пропонується впровадження наступних модулів:

А. Динамічна маршрутизація з урахуванням ризиків. Штучний інтелект (AI) повинен розраховувати маршрут не за найкоротшою відстанню, а за "коефіцієнтом безпеки". Функціонал: інтеграція карт бойових дій (з відкритих джерел або API ДСНС/військових адміністрацій) у TMS (Transport Management System). Дія: система автоматично перебудовує маршрут, оминаючи зони високого ризику артилерійських обстрілів. Врахування комендантської години: алгоритм планує маршрут так, щоб водій гарантовано дістався безпечної стоянки (TIR parking) за 1 годину до початку комендантської години.

Б. IoT-моніторинг холодового ланцюга. Перевезення швидкопсувних вантажів вимагає суворого температурного режиму. Проблема: якщо водій змушений вимкнути двигун/рефрижератор через економію палива в черзі або поломку, вантаж зіпсується. Рішення: бездротові датчики температури та вологості, які працюють незалежно від живлення авто. Реагування: якщо температура виходить за межі норми, диспетчер отримує мит-

тєве сповіщення. Якщо GSM-зв'язку немає, дані кешуються і відправляються "пакетом" при появі мережі (або через супутниковий канал).

В. Навігація в умовах РЕБ. В зонах, де працює РЕБ, GPS може показувати хибні координати ("спуфінг") або зникати. Технологія: використання інерціальних навігаційних систем (які працюють без супутників певний час) або гібридних систем, що корегують позицію за вишками стільникового зв'язку (Cell ID) та Wi-Fi точками.

Г. Цифрові двійники та блокчейн для митниці. Швидке проходження кордону критичне для швидкопсувних товарів. Технологія: використання смарт-контрактів та електронних черг (eЧерга). Попереднє декларування вантажу через захищені канали дозволяє мінімізувати час простою на митниці. ная рефрижератора, якщо закінчиться паливо.

3. Алгоритм дій при кризових ситуаціях.

Нижче у табличному (таблиця 1) вигляді наведено розроблену інтелектуальну систему сценаріїв реагування.

4. Організаційні та технічні вимоги до впровадження.

1. Гібридний зв'язок: обладнання вантажівок терміналами супутникового інтернету (наприклад, Starlink) для резервного каналу зв'язку в критичних точках.

2. Енергонезалежність: встановлення додаткових дизель-генераторів для рефрижераторних установок, щоб підтримувати температуру навіть при вимкненому тягачі.

3. Кібербезпека: шифрування даних про маршрути (оскільки це чутлива інформація під час війни). Використання закритих VPN-тунелів для передачі даних телеметрії.

4. Очікуваний ефект. Зниження псування вантажу: на 15–20% завдяки проактивному моніторингу температури. Безпека персоналу: зменшення ризику потрапляння під обстріли завдяки AI-аналізу небезпечних зон. Економія палива:

Таблиця 1

Інтелектуальна система сценаріїв реагування

Ситуація	Дія системи (автоматизація)	Дія людини (водій/диспетчер)
Повітряна тривога	Система позначає найближчі укриття на карті водія. Зупиняє таймер SLA (Service Level Agreement) доставки	Водій прямує до укриття, блокує кабіну та вантажний відсік
Втрата зв'язку	Активується офлайн-режим додатку. Дані з датчиків пишуться в локальну пам'ять ("Чорна скринька")	Водій використовує паперові накладні або завантажені офлайн-карти
Поломка рефрижератора	Система шукає найближчий склад-холодильник партнерів або вільну машину поруч.	Диспетчер організовує перевантаження товару

оптимізація черг та уникнення "тупикових" маршрутів через зруйновану інфраструктуру.

Висновки. Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що інтеграція інтелектуальних технологій суттєво підвищує адаптивність логістичних систем в умовах війни.

Дискусійним залишається питання вартості впровадження запропонованих технологій для малого бізнесу, проте розрахунки свідчать про швидку окупність за рахунок зменшення втрат вантажу. Важливим результатом є доведення необхідності пріоритетизації безпекових факторів

над часовими у певних сценарних умовах. Дослідження також виявило залежність між якістю інтернет-покриття та ефективністю роботи алгоритмів, що вимагає розробки офлайн-протоколів.

Підтверджено, що людський фактор залишається критичним, тому система має працювати в режимі підтримки прийняття рішень, а не повної автоматизації. Отримані дані корелюють з міжнародним досвідом кризової логістики, але мають специфіку, зумовлену характером бойових дій в Україні.

Список літератури:

1. Utama D. M. The vehicle routing problem for perishable goods. *Cogent Engineering*, 2020. 7, Article 1816148. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1816148>
2. Wu Y., Zhang J., Li Q., Tan H. Research on real-time robust optimization of perishable supply-chain systems based on digital twins. *Sensors*, 2023. 23(4), 1850. <https://doi.org/10.3390/s23041850>
3. Liang X., Wang N., Zhang M., Jiang B. Bi-objective multi-period vehicle routing for perishable goods delivery considering customer satisfaction. *Expert Systems with Applications*, 2023. 220, 119712. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119712>
4. Zhao F., Si B., Wei Z., Lu T. Time-dependent vehicle routing problem of perishable product delivery considering the differences among paths on the congested road. *Operational Research*, 2023. 23(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s12351-023-00751-3>
5. Fomin O., Lovska A., Kulbovskiy I., Holub H., Kozarchuk I., Kharuta V. Determining the dynamic loading on a semi-wagon when fixing it with a viscous coupling to a ferry deck. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 2(7). С. 6–12. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_2\(7\)_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_2(7)_2)
6. Fomin O., Gerlici J., Lovska A., Kravchenko K., Prokopenko P., Fomina A., Hauser V. Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*, 2019. Vol. 21, № 1. 28–34 URL: <https://dSPACE.snu.edu.ua/handle/123456789/636>
7. Tirkolaee E. B. A robust green traffic-based routing problem for perishable products. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. <https://doi.org/10.1111/coin.12240>
8. Abbas H., Zhao L., Gong X., Faiz N. The perishable products case to achieve sustainable food quality and safety goals: implementing on-field sustainable supply chain model. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2023. 101562. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101562>
9. Ghazal M. Transportation of perishable goods & rerouting solutions. *Proceedings ACM*. 2022. <https://doi.org/10.1145/3524338.3524370>
10. Melnyk O., Bulgakov M., Fomin O., Onyshchenko S., Onishchenko O., Pulyaev I. Sustainable development of renewable energy in shipping: Technological and environmental prospects. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2025. Vol. 127. P. 165–188. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2025.127.10>
11. Sulim A.O., Fomin O.V., Khozya P.O., Mastepan A. Theoretical and practical determination of parameters of on-board capacitive energy storage of the underground rolling stock. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. Issue 5 (1), P.79-87. doi: 10.29202/nvngu/2018-5/8
12. Li X., Xu Y., Lai K. K., Ji H., Xu Y., Li J. A multi-period vehicle routing problem for emergency perishable materials under uncertain demand based on an improved whale optimization algorithm. *Mathematics*. 2022. 10(17), 3124. <https://doi.org/10.3390/math10173124>
13. Niksirat M., Saffarian M., Tayyebi J., Deaconu A. M., Spridon D. E. Fuzzy multi-objective, multi-period integrated routing–scheduling to distribute relief to disaster areas: a hybrid ant colony optimization approach. *Mathematics*. 2024. 12(18), 2844. <https://doi.org/10.3390/math12182844>
14. Zhang B. Sustainability of perishable food cold chain logistics. *Sage Open*. 2024. <https://doi.org/10.1177/21582440241280455>
15. Kurdiuk S., Dremluk V., Melnyk O., Onishchenko O., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Development of a High-Reliability Hybrid Data Transmission System for Unmanned Surface Vehicles Under Interference Conditions. *Drones*. 2025. 9(3), 174. <https://doi.org/10.3390/drones9030174>

Ivanchenko D.A., Turpak S.M., Ostrohliad O.O., Mishniev A.S., Sklyarenko Yu.O.
**STRATEGY FOR OPTIMIZING ROAD TRANSPORTATION OF PERISHABLE GOODS
USING INTELLIGENT TECHNOLOGIES DURING MILITARY CHALLENGES**

The article addresses a relevant scientific and applied problem of optimizing road transportation of perishable goods under military challenges, which are characterized by a high level of uncertainty, instability of transport infrastructure, security threats, and strict time-temperature constraints. It is substantiated that traditional logistics approaches and static route-planning models are unable to provide the required level of adaptability and reliability in conditions of active hostilities, destruction of road networks, curfews, communication disruptions, and the impact of electronic warfare. As a result, transportation time increases, product quality deteriorates, economic losses grow, and risks to personnel safety intensify, which necessitates the development of fundamentally new intelligent logistics solutions.

The purpose of the study is to develop and substantiate a strategy for optimizing road transportation of perishable goods based on the integration of intelligent technologies, ensuring product quality preservation, risk minimization, and enhanced safety of transport processes during wartime. To achieve this goal, a systems approach was applied, combining methods of analysis and synthesis of scientific publications, concepts of intelligent transportation systems, optimization theory elements, and scenario-based modeling of crisis situations.

The paper proposes a comprehensive optimization strategy based on the principles of dynamism, autonomy, and data integration. A conceptual architecture of an intelligent logistics system is developed, integrating artificial intelligence algorithms for dynamic route planning with security risk assessment, IoT-based monitoring of cold chain parameters, hybrid navigation solutions under GPS degradation or loss, and the use of digital twins and secure data exchange mechanisms. Special attention is paid to ensuring the system's operability in offline or limited-connectivity modes, which is critical in areas affected by military operations.

An algorithm for responding to typical crisis scenarios—such as air raid alerts, communication loss, and refrigeration unit failures—is proposed, enabling effective decision support in real time. The scientific novelty of the study lies in the formation of an integrated optimization strategy that prioritizes safety and survivability criteria over traditional time- and cost-minimization objectives, as well as in the combination of intelligent algorithms with autonomous operational protocols.

The practical significance of the results consists in the possibility of their application by transport and logistics operators to reduce losses of perishable goods, increase the resilience of cold supply chains, and enhance personnel safety under extreme conditions. The proposed approaches can be adapted for both commercial and humanitarian transportation in crisis and conflict-affected regions.

Keywords: *transport, road transport, intelligent logistics technology for operational transportation management, operational transportation planning.*

Дата першого надходження статті до видання: 16.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.04.2026