

Д. КОБИЛКІН, О. ЗАЧКО, Р. МИЦЬКО, С. ЗАХАРЧИШИН, CHETIN ELMAS

УПРАВЛІННЯ КРИТИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ЛОГІСТИЧНИХ ТА ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПРОЄКТІВ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ (НА ПРИКЛАДІ СЕКТОРУ БЕЗПЕКИ ТА ОБОРОНИ В УМОВАХ ВІЙНИ)

Предметом дослідження в статті є управління критичними параметрами інфраструктурних та логістичних проєктів на прикладі сектору безпеки та оборони в умовах війни засобами комп'ютерного експерименту з використанням сучасного інструментарію штучного інтелекту, зокрема мультиагентних систем. **Метою дослідження** є проведення комп'ютерного експерименту з дослідження критичних параметрів функціонування інфраструктурних та логістичних проєктів на базі інтелектуальних моделей, що застосовують теорію мультиагентних систем. У статті вирішуються **завдання**: формалізації технічних параметрів транспортної інфраструктури; формалізації предметної області управління логістичними та інфраструктурними проєктами, моделювання критичних параметрів функціонування інфраструктурних та логістичних проєктів в умовах воєнного стану, формування ризиків логістичних та інфраструктурних проєктів на основі аналізу критичних місць. Використовуються такі **методи**: методи дослідження операцій; методи комп'ютерного моделювання, технології штучного інтелекту, зокрема мультиагентні системи; теорії ризиків. **Результати дослідження**: розглянуто методику проведення комп'ютерного експерименту моделювання критичних параметрів функціонування інфраструктурних та логістичних проєктів в умовах воєнного стану. Проведено аналіз реалізації логістичних проєктів в залежності від таких критеріїв як відстань, час проєкту, вантажопідйомність, критичні зони логістичних проєктів та якісні переваги від реалізації. Розроблено матрицю маршрутів логістичних проєктів в умовах воєнного стану. Проведено якісний та кількісний аналіз ризиків логістичних та інфраструктурних проєктів в умовах воєнного стану. **Висновки**: отримані наукові результати доповнюють методологію управління інфраструктурними проєктами та дають змогу реалізувати логістичні проєкти в умовах воєнного стану та погіршення ситуації з продовольчою безпекою, зокрема як альтернативи Чорноморської зернової ініціативи, а також інфраструктурні та логістичні проєкти у секторі безпеки та оборони в умовах війни. Також отримані результати можуть бути застосовані при плануванні логістичних проєктів постачання озброєнь в умовах воєнного стану.

Ключові слова: інфраструктурні проєкти; логістичні проєкти; управління безпекою; сектор безпеки та оборони.

Вступ

Управління проєктами, як наука є в галузі технічних наук та дає змогу розроблення інструментарію, механізмів, моделей, методів та інформаційних технологій управління складними організаційними соціотехнічними системами [1–3].

Умови воєнного стану кардинально змінили специфіку реалізації логістичних та інфраструктурних проєктів, що в свою чергу вимагає розроблення нових підходів до управління. Зокрема, нові тренди реалізації інфраструктурних проєктів полягають в майбутніх програмах поствоєнного відновлення інфраструктури України, в т.ч. об'єктів критичної інфраструктури, які вимагають нових механізмів бюджетування, проєктного фінансування [4]. Логістичні проєкти є підґрунтям успішної реалізації інфраструктурних проєктів, адже від раціональної спланованої логістики залежить час реалізації

проєктів, їх бюджет [5–7]. Як окрема ланка логістичні проєкти зараз мають нові виклики в ситуації з продовольчою безпекою, секторі безпеки та оборони.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналізуючи існуючі стандарти PMBOK [1] та P2M [3] узагальнено, що в них систематизовані процеси управління проєктами, зокрема є визначеними рамки та параметри для планування, моніторингу і контролю великих інфраструктурних програм, що в свою чергу формує базову методологічну основу управління складними проєктами. Однак дані стандарти недостатньо адаптовані до умов воєнного стану і не враховують вплив динамічних воєнних ризиків на життєвий цикл проєктів.

У своїх дослідженнях А. Івко та С. Бушуєв [4, 8, 9] розробили синкретичну методологію управління для цифрових і відновлювальних інфраструктурних

проектів, що поєднує як гнучкі так і класичні інструменти управління, що в свою чергу дозволяє підвищити ефективність управління у швидкозмінному середовищі.

P. Jiang, H. Zhang, M. Bertolini, R. Guido, S. Liao, M. Tseng у наукових дослідженнях [5–7] розглянуто процес застосування ІТ систем локалізації в режимі реального часу, автоматизації і обробки великого обсягу даних, що в умовах мирного часу підвищує рівень ефективності логістичних операцій. Однак дані результати дослідження не адаптовані для використання у безпековому секторі, і не аналізують відповідну специфіку поведінки і функціонування логістичних проектів в умовах війни.

У наукових працях B. Flyvbjerg, N. Bruzelius, W. Rothengatter [10, 11] обґрунтовано підходи до оцінки ризиків у мегапроектах, зокрема в контексті системних відхиленнях у термінах і вартості, що стало основою для розвитку карт ризиків та їх інтеграції в процес управління. Однак недоліком є те, що недостатня увага приділена просторово-часовій динаміці ризиків, а ризик розглядається переважно статично, тоді як у воєнних умовах критичні параметри інфраструктурних проектів можуть швидко змінюватися.

Науковці K. Nayat, M. Hafeez, K. Bilal, M. Shabbir у праці [12] особливо виокремлюють ролі організаційних структур та роботи команди проекту у забезпеченні успіху проектів, що в свою чергу є важливим для управління складними логістичними процесами та проектами.

У роботах О. Зачка [13–15] досліджувалися процеси інтелектуального моделювання інфраструктурних проектів, процесам управління безпекою та портфельного управління. Це сформувало базу для розробки інструментарію аналізу параметрів інфраструктурних проектів у системі цивільному захисті, однак без інтеграції зі сценаріями воєнних дій.

Як підсумок, на сьогодні науковцями проведено ґрунтовні дослідження та напрацьований значний доробок у галузі управління інфраструктурними та логістичними проектами. Однак дані наукові і практичні результати не адаптовані до умов сектора безпеки та оборони в умовах війни, що і становить актуальність проведення дослідження процесу управління критичними параметрами логістичних та інфраструктурних проектів засобами комп'ютерного експерименту за даних умов та параметрів.

Аналіз проблеми й наявних методів

Наукова проблема, яка є невирішеною досі – це проведення натурного експерименту, оскільки відгук складної соціотехнічної системи на зміну параметрів управління може сягати багатьох років, що робить таке дослідження економічно не рентабельним та не реалістичним. Особливо це стосується логістичних та інфраструктурних проектів, які характеризуються великим та складним життєвим циклом, масштабним бюджетом, великими ризиками та складністю управління [8, 9].

Під час проведення досліджень використовувалися методи дослідження операцій – для формалізації технічних параметрів транспортної інфраструктури; методи комп'ютерного моделювання – для формалізації предметної області управління логістичними та інфраструктурними проектами, а також технології штучного інтелекту, зокрема мультиагентних систем – для моделювання критичних параметрів функціонування інфраструктурних та логістичних проектів в умовах воєнного стану; теорії ризиків – формування ризиків та проведення їх кількісного та якісного аналізу в логістичних та інфраструктурних проектів [10–12]. Суть комп'ютерного експерименту полягає у описі властивостей продуктів інфраструктурних та логістичних проектів імітаційною моделлю [13–15].

Метою статті є розроблення підходів, методик, алгоритмів та інформаційних технологій з проведення комп'ютерного експерименту моделювання критичних параметрів функціонування логістичних та інфраструктурних проектів в умовах воєнного стану.

Постановка наукового завдання

Для досягнення цієї мети ставляться такі завдання:

- вивчення сучасних технологій та методів, що використовуються для проведення комп'ютерного експерименту в складних соціотехнічних організаційних системах, в т.ч. безпекових, де відгук системи на зміну параметрів управління сягає років та не має можливості провести натурний експеримент;
 - сформулювати гіпотезу та план комп'ютерного експерименту моделювання критичних параметрів функціонування логістичних та інфраструктурних проектів в умовах воєнного стану;
 - на основі результатів комп'ютерного експерименту розробити практичні рекомендації
-

управління критичними параметрами інфраструктурних та логістичних проєктів на прикладі сектору безпеки та оборони в умовах війни;

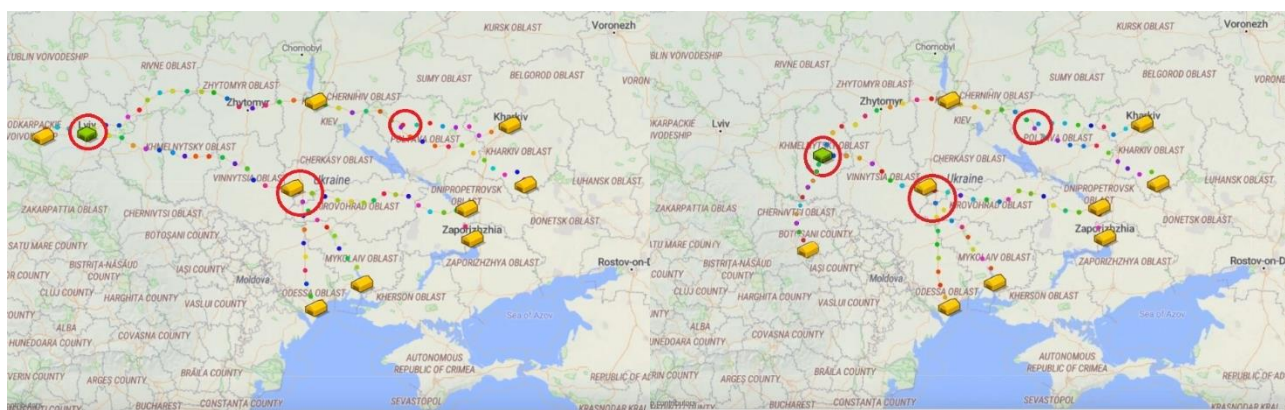
- визначення перспектив розвитку та майбутніх тенденцій у галузі управління логістичними та інфраструктурними проєктами в умовах воєнного стану згідно отриманих наукових результатів.

Результати дослідження та їхнє обговорення

Гіпотеза наукового дослідження, що полягає в проведенні комп'ютерного експерименту дослідження критичних параметрів управління логістичними та інфраструктурними проєктами в умовах воєнного стану полягає в розробленні оптимальних матриць логістичних проєктів, ключовими параметрами яких є вартісні показники, відстань та безпекова компонента.

Що стосується умов воєнного стану, то в пріоритеті залишається саме безпекова компонента та альтернативність ланцюгів постачань. Можливі галузі прикладного застосування розроблених комп'ютерних моделей, які були ідеєю комп'ютерного експерименту – це альтернативність реалізації Чорноморської зернової ініціативи при песимістичних сценаріях, а також логістичні проєкти в секторі безпеки та оборони в умовах воєнного стану.

На рис. 1 представлені розроблені моделі логістичних проєктів засобами автомобільної та залізничної критичної інфраструктури в середовищі інтелектуального мультиагентного моделювання в рамках управління критичними параметрами інфраструктурних та логістичних проєктів на прикладі сектору безпеки та оборони в умовах війни засобами комп'ютерного експерименту.



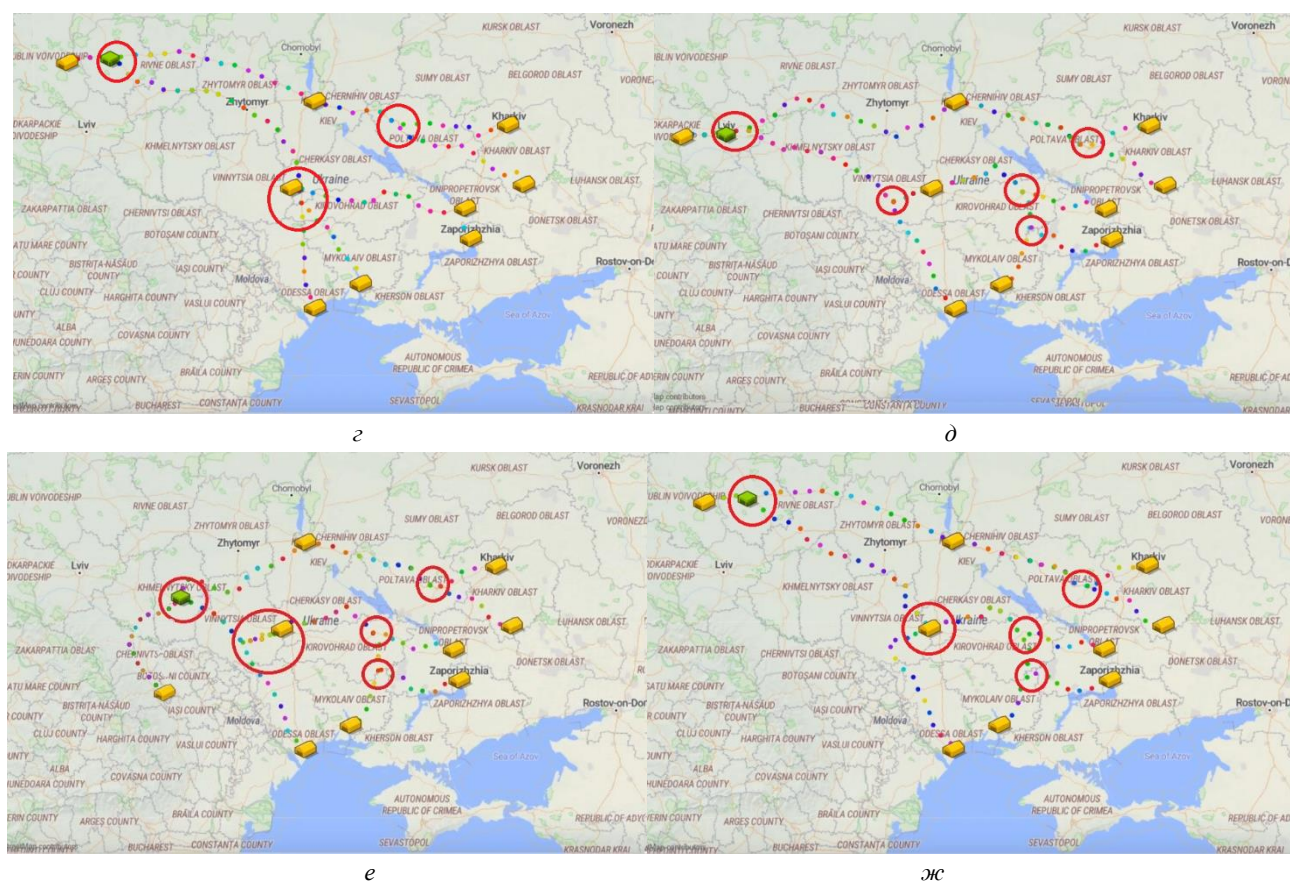


Рис. 1. Комп'ютерний експеримент управління логістичними проєктами засобами автомобільної та залізничної транспортної критичної інфраструктури в середовищі інтелектуального мультиагентного моделювання:

- а – логістичний проєкт Перемишль-Львів з використанням автомобільної транспортної інфраструктури;
- б – логістичний проєкт Сучава-Хмельницький з використанням автомобільної транспортної інфраструктури;
- в – 3D-модель продукту реалізації логістичного проєкту Львівською залізницею;
- г – логістичний проєкт Холм-Ковель з використанням автомобільної транспортної інфраструктури;
- д – логістичний проєкт Перемишль-Львів з використанням залізничної транспортної інфраструктури;
- е – логістичний проєкт Сучава-Хмельницький з використанням залізничної транспортної інфраструктури;
- ж – логістичний проєкт Холм-Ковель з використанням залізничної транспортної інфраструктури

Вхідні параметри для комп'ютерного експерименту бралися з міжнародних та державних стандартів, що стосуються логістики [16, 17]. Оскільки прикладне застосування розроблених комп'ютерних моделей стосуватиметься як гуманітарної сфери, так і можливо у секторі безпеки та оборони, то пріоритетом була альтернативність потенційних логістичних ланцюгів на прикладі логістичних проєктів наведених на рис. 1. Технічні параметри логістичних проєктів подано в табл. 1.

Комп'ютерна модель кожного логістичного проєкту описується кортежем:

$$L = \langle S, T_x, C \rangle, \quad (1)$$

де S – відстань оцінена з урахуванням реальних масштабів і топології доріг; T_x – час у дорозі, що

враховує тип перевезення, середню швидкість та можливі затримки; D – розрахунковий час перетину кордону, що враховує тип перевезення, середню швидкість та можливі затримки; C – вантажопідйомність (авто: фура ≈ 20 т; залізниця: 1 вантажний вагон ≈ 75 т (залежить від типу), 1 вантажний поїзд в середньому 50-70 вагонів).

На рис. 1 а, б, г, д, е позначені критичні точки червоними колами на картах. Це потенційні загрози безпеці (воєнні, логістичні вузли, вразливі мости та ін.) як для логістичних проєктів по Україні так і потенційних логістичних проєктів перетину кордонів. Аналізуючи якісні переваги, то автомобільна транспортна інфраструктура дає можливість оперативності та можливість доставити вантаж до конкретного об'єкта без перевантаження. Залізнична

транспортна інфраструктура дає вищу ефективність для великих партій, але обмежена маршрутом і станом інфраструктури. Виходячи з аналізу табл. 1 Логістичний проєкт *Перемишль–Львів* має найкращий маршрут за швидкістю та гнучкістю при використанні автомобільного транспорту (коротка відстань, швидкий час у дорозі). Залізниця підходить для великих вантажів, але має суттєві затримки на кордоні. Логістичний проєкт *Холм–Ковель* – оптимальний для автомобільних перевезень середньої відстані з хорошою гнучкістю, але з ризиками через стан

інфраструктури і затримки на кордоні. Залізниця забезпечує велику вантажопідйомність, але з більшими затримками. Проєкт *Сучава–Хмельницький* – маршрут з високими ризиками затримок через відстань, стан доріг та складну логістику на залізниці. Перевага – велика вантажопідйомність залізничного транспорту, але час доставки може бути дуже довгим.

Відповідно до отриманих вихідних даних комп'ютерного експерименту сформулюємо критерії ефективності логістичних проєктів в умовах війни (табл. 2).

Таблиця 1. Вхідні дані для комп'ютерного експерименту (дані з відкритих електронних ресурсів)

Напрямок	Тип транспорту	Орієнтовна відстань (км)	Час у дорозі (без черг/ із технічними затримками)	Вантажопідйомність транспортного засобу	Якісні переваги / ризики
Перемишль – Львів	Авто	~97 км	~2 год / ~2 – 6 год	~20 т (фура)	Гнучкість, затори на кордоні
	Залізниця	~95 км	~3–4 год/ ~6 – 30+ год	~75 т (вагон)	Велика пропускна здатність, складна логістика на кордоні (перестановка візків)
Холм – Ковель	Авто	~115 км	~2–2,5 год/ ~3 – 8 год	~20 т (фура)	Добра гнучкість маршруту; затримки на переході, ризики з поганою інфраструктурою
	Залізниця	~90 км	~3–6 год/ ~6 – 36+ год	~75 т (вагон)	Більші обсяги перевезень, критичні вузли з низькою пропускною здатністю
Сучава – Хмельницький	Авто	~270 км	~4–5,5 год/ ~5 – 20 год	~20 т (фура)	Гнучкість маршруту, можливість обрання альтернативних КПП, довга відстань, стан доріг
	Залізниця	~290 км	~8–11,5 год/ ~24 – 72+ год	~75 т (вагон)	Висока вантажопідйомність, складний маршрут із кількома вузлами, складна логістика на кордоні (перестановка візків)

Таблиця 2. Критерії ефективності логістичних проєктів в умовах війни

Критерій	Автомобіль (фура)	Залізничний вантажний потяг
Середня довжина маршруту	~ 161 км	~159 км
Швидкість транспорту	Вища (швидкий рух без черг 2–5,5 год)	Нижча (рух без черг 3–11,5 год)
Середній час доставки	2–20 год з урахуванням кордону	6–72+ год з урахуванням кордону та перестановок
Вантажопідйомність одного рейсу	~20 тонн	~75 тонн (1 поїзд ≈ 50–70 вагонів)
Пропускна здатність маршруту	Обмежена кількістю фур, пунктами пропуску	Висока, але залежна від інфраструктури залізниці
Гнучкість маршруту	Висока – можна змінювати маршрут	Низька – залежність від колії, логістики станцій
Вартість транспортування (за тону)	Вища (~1.5–2× ніж залізнична)	Нижча на великі обсяги, економія масштабу
Критичні точки	Митниці, черги, вузькі дороги та їх стан, перевантаження	Залізничні вузли, стиковки колій, зміна візків, нестача локомотивів
Якісні переваги	Гнучкість, швидкість на коротких дистанціях, можливість термінових перевезень	Обсяг, економічність, безпека
Основні ризики	ДТП, затримки, погодні умови, митний контроль, обмежена вантажопідйомність	Стиковки колій, дефіцит рухомого складу, обмежена маневровість, великі простой

В табл. 3 наведені результати порівняльного багатокритеріального аналізу ефективності реалізації логістичних проєктів засобами залізничної та

транспортної інфраструктури в умовах війни за критеріями довжини логістичного маршруту, часу проєкту, критичних точок та ризиків.

Таблиця 3. Порівняльний багатокритеріальний аналіз ефективності логістичних проєктів залізничною та автомобільною транспортною інфраструктурою

Логістичний проєкт <i>Перемишль → Львів</i>		
Критерій	Авто	Залізниця
Довжина	~97 км	~95 км
Час	~2 год без черг; 2–6 год з урахуванням кордону	~3–4 год без черг; 6–30+ год з кордоном та перестановками
Критичні точки	2 (кордон, можливі затори)	3 (кордон, перестановка вагонів)
Ризики	Затори на кордоні, обмежена вантажопідйомність	Тривалі затримки на кордоні, складна логістика
Логістичний проєкт <i>Холм → Ковель</i>		
Критерій	Авто	Залізниця
Довжина	~115 км	~90 км
Час	~2–2,5 год без черг; 3–8 год з урахуванням кордону	~3–6 год без черг; 6–36+ год з кордоном і перестановками
Критичні точки	3 (кордон, інфраструктура, затримки)	4 (кордон, низька пропускна здатність вузлів)
Ризики	Затримки на переході, погана інфраструктура	Великі затримки на критичних вузлах, складність логістики
Логістичний проєкт <i>Сучава → Хмельницький</i>		
Критерій	Авто	Залізниця
Довжина	~270 км	~290 км
Час	~4–5,5 год без черг; 5–20 год з урахуванням кордону	~8–11,5 год без черг; 24–72+ год з кордоном та перестановками
Критичні точки	4 (довга відстань, кордон, стан доріг, КПП)	5 (довгий маршрут, кордон, перестановки, вузькі місця)
Ризики	Довга відстань, поганий стан доріг, затримки	Дуже тривалі затримки, складна логістика, великі простой

Використовуючи сценарний підхід змодельємо можливі сценарії реалізації логістичних проєктів в умовах війни. Відповідно до безпекової ситуації та в залежності від того чи це гуманітарний логістичний проєкт чи в секторі безпеки та оборони, потенційних ракетних та дронів атак, руйнувань залізничної та автомобільної транспортної інфраструктури (табл. 4).

Умови війни принципово змінили підходи до управління логістичними та інфраструктурними проєктами. Так, класичними критеріями успішності логістичних проєктів були вартість та час доставки (рис. 2), в той час як зараз це безпекова ситуація.

За результатами комп'ютерного експерименту розроблено матрицю логістичних проєктів по Україні (табл. 5), враховуючи найбільші вузлові пункти транспортної інфраструктури України та на основі концептуальної параметричної моделі:

$$x = \begin{cases} \langle S, T, W, R \rangle \rightarrow \min \\ \langle V, C, P \rangle \rightarrow \max \end{cases}, \quad (2)$$

де x – унікальний логістичний проєкт; S – відстань (км); T_x – час (год); V – швидкість (км/год); C – вантажопідйомність (т); W – вартість (грн/т); R – ризики (↑ високі, → помірні, ↓ низькі); P – переваги.

Таблиця 4. Потенційні сценарії реалізації логістичних проєктів в умовах війни

Сценарій	Рекомендований тип транспорту
Швидка адресна доставка	Автомобіль
Великі обсяги, менша вартість	Залізниця
Уникнення заторів/черг	Залізниця
Складні погодні умови (зима)	Залізниця
Доставка з можливістю маневрування	Автомобіль

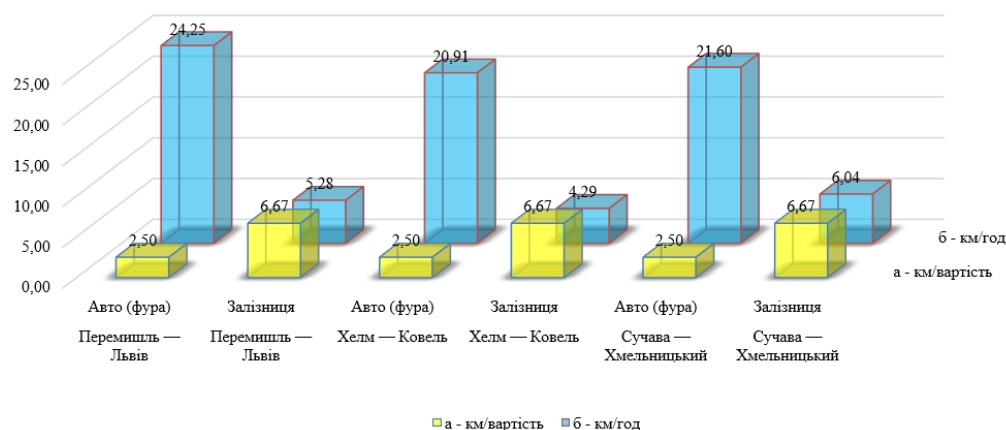


Рис. 2. Класичні критерії ефективності логістичних проєктів у довоєнний період:
а – вартість доставки за км; б – швидкість доставки за км

Таблиця 5. Матриця логістичних проєктів по Україні

Матриця логістичних проєктів по Україні							
Напрямок / Транспорт	S	T	V	C	W	R	P
<i>Холм – Ковель → цілі по Україні (автомобільна та залізнична інфраструктура)</i>							
Харків / Авто	1025	17	60	20	410	↑↑	Гнучкість доставки, прямі маршрути
Харків / Залізниця	1002	22	45	75	150	↑	Велика пропускна здатність, дешевше на великі відстані
Лозова / Авто	1062	18	60	20	425	↑	Door-to-door, об'їзди
Лозова / Залізниця	1081	24	45	75	162	→	Великі обсяги, нижча ціна/т
Дніпро / Авто	1107	18	60	20	443	↑	Гнучкі маршрути
Дніпро / Залізниця	1133	25	45	75	170	→	Дешевше на довгі відстані
Запоріжжя / Авто	1170	20	60	20	468	↑↑	Гнучкість, прямі поставки
Запоріжжя / Залізниця	1195	27	45	75	179	↑	Великі обсяги
Миколаїв / Авто	968	16	60	20	387	→	Прямі поставки
Миколаїв / Залізниця	988	22	45	75	148	→	Великі обсяги
Одеса / Авто	959	16	60	20	384	→	Гнучкі маршрути
Одеса / Залізниця	983	22	45	75	147	↓	Дешевше на великі обсяги
<i>Сучава –Хмельницький → цілі по Україні (автомобільна та залізнична інфраструктура)</i>							
Харків / Авто	1061	18	60	20	424	↑	Гнучкість, пряма доставка
Харків / Залізниця	1156	26	45	75	173	↑	Масове перевезення, дешевше
Лозова / Авто	1093	18	60	20	437	↑	Швидкість, керованість
Лозова / Залізниця	1235	27	45	75	185	→	Централізоване постачання
Дніпро / Авто	955	16	60	20	382	→	Хороша динаміка
Дніпро / Залізниця	1037	23	45	75	156	→	Регулярне масове перевезення
Запоріжжя / Авто	1040	17	60	20	416	↑	Можливість обходу
Запоріжжя / Залізні.	1100	24	45	75	165	→	Менш затратне перевезення
Миколаїв / Авто	815	14	60	20	326	↓	Гнучкість маршруту
Миколаїв / Залізні.	887	20	45	75	133	↓	Централізована доставка
Одеса / Авто	807	13	60	20	323	↓	Прямий доступ до порту
Одеса / Залізниця	881	20	45	75	132	↓	Висока ефективність, регулярність
<i>Перемисьль–Львів → Україна (автомобільна та залізнична інфраструктура)</i>							
Харків / Авто	1127	19	60	20	451	↑↑	Гнучкий маршрут, пряме сполучення
Харків / Залізниця	1193	27	45	75	179	↑	Великі обсяги, менші витрати на великі партії
Лозова / Авто	1159	19	60	20	464	↑	Обхід критичних зон, оперативність
Лозова / Залізниця	1271	28	45	75	191	→	Масові вантажі, нижчі витрати
Дніпро / Авто	1048	17	60	20	419	→	Оптимальна відстань, надійна інфраструктура
Дніпро / Залізниця	1040	23	45	75	156	→	Стабільна логістика, дешевше на обсягах
Запоріжжя / Авто	1111	19	60	20	444	↑	Пряма доставка
Запоріжжя / Залізні.	1101	24	45	75	165	→	Обсяги, менше блокувань
Миколаїв / Авто	908	15	60	20	363	→	Порт, хороша логістика до Одеси
Миколаїв / Залізні.	895	20	45	75	134	↓	Масові вантажі, зменшення навантаження на дороги
Одеса / Авто	899	15	60	20	360	↓	Портовий вузол, швидке реагування
Одеса / Залізниця	890	20	45	75	134	↓	Залізнична логістика з виходом на порти

На рис. 3 представлений порівняльний аналіз логістичних проєктів за 4 параметрами ефективності. В умовах воєнного стану на відміну від звичних підходів, на перше місце виходить безпекова компонента. Тому крім параметрів відстані, вартості та часу проєкту (рис. 3 а, б, в), що в умовах війни

при реалізації проєктів в секторі безпеки та оборони, які не є критичними, необхідно пріоритезувати 4-й параметр – рівень ризиків (рис. 3г).

Нами розроблено матриці відстаней в логістичних проєктах від прикордонних вузлових станцій до ключових цілей в Україні (табл. 6).

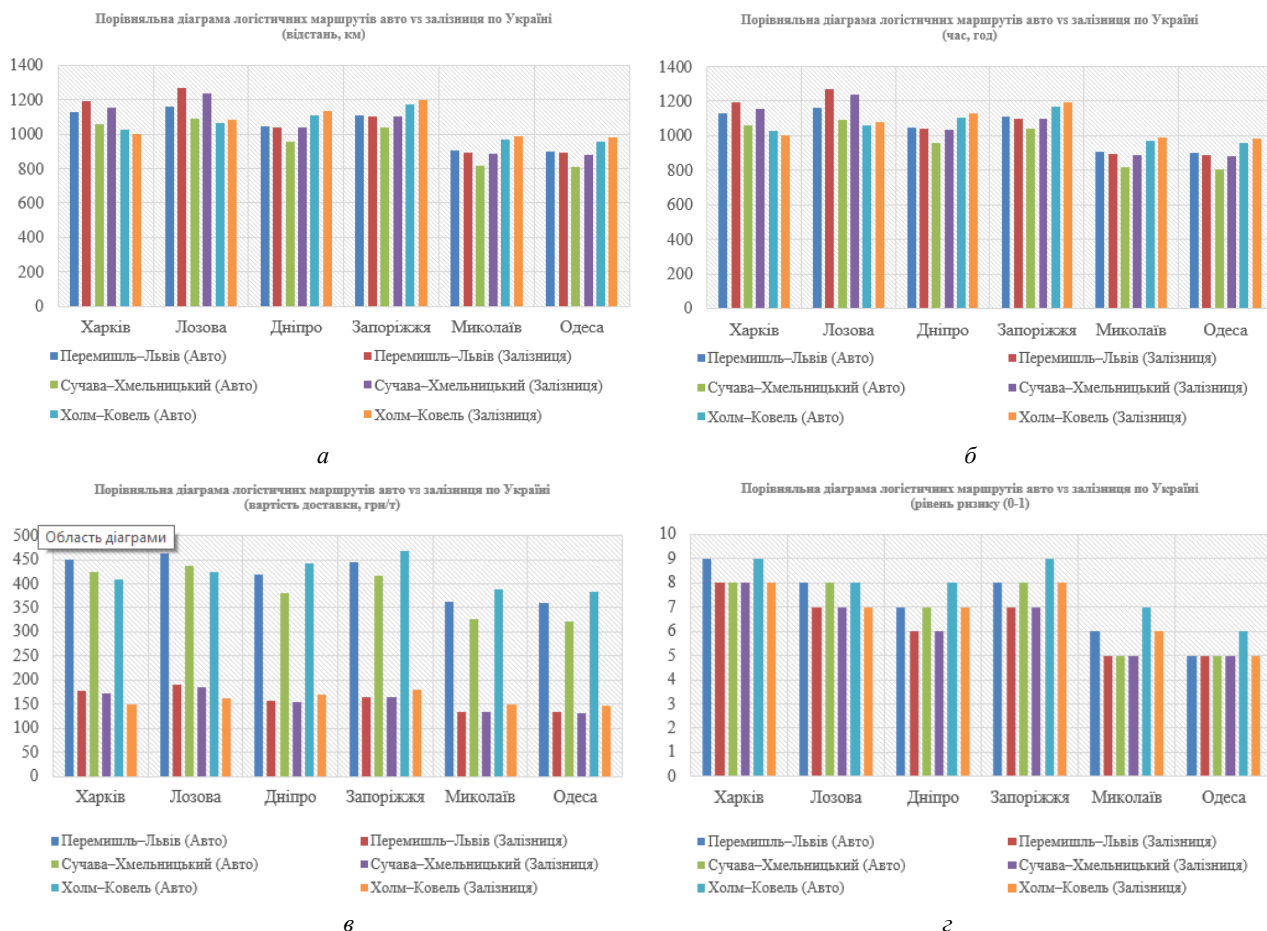


Рис. 3. Порівняльна діаграма логістичних проєктів за параметрами:
а – відстань; б – час проєкту; в – вартість проєкту; г – рівень ризиків

Таблиця 6. Матриця відстаней в логістичних проєктах від прикордонних вузлових станцій до ключових цілей в Україні

Напрямок, відстань, км	Харків	Лозова	Дніпро	Запоріжжя	Миколаїв	Одеса
Перемишль–Львів (Авто)	1127	1159	1048	1111	908	899
Перемишль–Львів (Залізниця)	1193	1271	1040	1101	895	890
Сучава–Хмельницький (Авто)	1061	1093	955	1040	815	807
Сучава–Хмельницький (Залізниця)	1156	1235	1037	1100	887	881
Холм–Ковель (Авто)	1025	1062	1107	1170	968	959
Холм–Ковель (Залізниця)	1002	1081	1133	1195	988	983

На основі даних табл. 6 найкоротший маршрут до основних цілей в Україні є логістичний проєкт Сучава–Хмельницький автомобільною транспортною інфраструктурою. Зазвичай залізничні логістичні проєкти загалом довші на ~20–80 км через інфраструктурні особливості. Логістичний проєкт Холм–Ковель є найдорожчим з розрахунку відстані

та витрат на транспортування до цілей в Україні (незалежно від транспорту).

Тому на основі кумуляції показників часу, вартості, ризику та швидкості (табл. 7) нами розроблено кумулятивний показник успішності логістичного проєкту в умовах воєнного стану, для визначення якого було здійснено 4 етапи.

Таблиця 7. Кумулятивний показник успішності логістичного проекту

№	Маршрут	μS	μT_x	μW	μR	K_{sw}
1	Перемишль – Львів (Залізниця)	1065,00	41,67	159,75	6,33	0,717
2	Сучава – Хмельницький (Авто)	961,83	29,03	384,67	6,83	0,663
3	Сучава – Хмельницький (Залізниця)	1049,33	71,32	157,33	6,33	0,630
4	Холм – Ковель (Залізниця)	1063,67	44,64	159,33	6,83	0,575
5	Перемишль – Львів (Авто)	1042,00	21,37	416,80	7,17	0,423
6	Холм – Ковель (Авто)	1048,50	22,48	419,50	7,83	0,288

Тут μS – середнє значення відстаней логістичного проекту по Україні (км); μT_x – середнє значення часу логістичного проекту по Україні із врахуванням коефіцієнту затримок (год); μW – середнє значення вартості транспортування продукту логістичного проекту по Україні (грн/т); μR – середнє значення ризику логістичного проекту по Україні [0;10]; K_{sw} – кумулятивний показник успішності логістичного проекту в умовах воєнного стану.

На першому етапі проведено нормалізацію $Y_{norm,j}$ мінімізувальних критеріїв ($\mu S, \mu T_x, \mu W, \mu R$) за формулою 3.

$$Y_{norm,j} = \frac{\max(Y) - Y_j}{\max(Y) - \min(Y)} \quad (3)$$

На другому та третьому етапах розраховані показники зваженої суми Ws_j , формула 4 та первинний індекс Ksw_{nj} , формула 5.

$$Ws_j = 1 \cdot \mu V_{norm,j} + 1 \cdot \mu T_{x, norm,j} + 1 \cdot \mu W_{norm,j} + 2 \cdot \mu R_{norm,j} \quad (4)$$

$$Ksw_{nj} = Ws_j / 5 \quad (5)$$

На четвертому етапі за формулою 6 розраховані значення кумулятивного показника успішності логістичних проектів в умовах воєнного стану, що наведені у табл.7 та відображені на рис. 4.

$$Ksw = \frac{Ksw_{nj} - \min(Ksw_n)}{\max(Ksw_n) - \min(Ksw_n)} \quad (6)$$

Згідно даних табл. 7 та рис. 4 найефективнішим є логістичний проект Перемишль–Львів засобами залізничної транспортної інфраструктури через оптимальне співвідношення вартості, часу і ризиків. Найбільш збалансованим за критеріями часу, помірної вартості і середнього рівня ризиків є Сучава–Хмельницький автомобільною транспортною інфраструктурою. Найменш ефективним є Холм–Ковель автомобільною транспортною інфраструктурою через найвищі в умовах воєнного стану ризики і високу вартість при середніх показниках відстані.

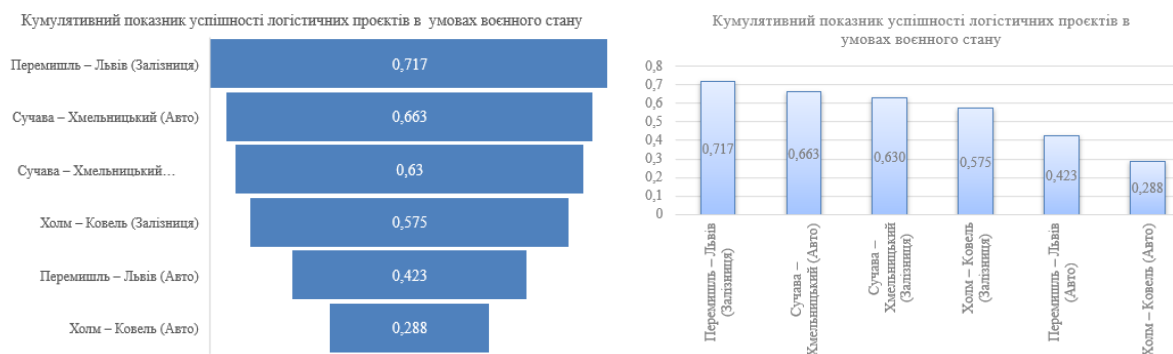


Рис. 4. Кумулятивний показник успішності логістичних проектів в умовах воєнного стану

Висновки

В науковій статті проведено комп'ютерний експеримент з управління критичними параметрами функціонування інфраструктурних та логістичних проектів в умовах воєнного стану з застосуванням технологій штучного інтелекту, зокрема теорії мультиагентних систем.

Отримані такі нові результати:

1. Здійснено формалізацію технічних параметрів транспортної інфраструктури та предметної області управління логістичними та інфраструктурними проектами.

2. Створено сценарний підхід реалізації логістичних проектів в умовах воєнного стану, що враховують параметри відстані логістичних проектів, часу реалізації та якісних переваг.

3. Проведено комп'ютерний експеримент з реалізації логістичних проєктів автомобільною та залізничною інфраструктурою з детальним аналізом кількісних та якісних параметрів ризик-менеджменту в умовах воєнного стану.

4. На основі комп'ютерного експерименту розроблено матриці логістичних проєктів, що враховують вартісні параметри, оцінку ризиків, технічні параметри логістичних проєктів (вантажопідйомність, швидкість, відстань).

5. Проведено моделювання критичних параметрів функціонування інфраструктурних та логістичних проєктів в умовах воєнного стану та сформовано ризики логістичних та інфраструктурних проєктів на основі аналізу критичних місць.

Напрямки подальших досліджень

Отримані наукові результати доповнюють методологію управління інфраструктурними проєктами

та є перспективним напрямом наукових досліджень в секторі безпеки та оборони, зокрема:

1. Перспективним напрямом управління логістичними проєктами в умовах воєнного стану є розроблення інтелектуальних моделей, що дають змогу реалізувати проєкти у випадку песимістичного сценарію погіршення ситуації з продовольчою безпекою, зокрема як альтернативи Чорноморської зернової ініціативи засобами автомобільної та залізничної зернової ініціативи

2. Отримані результати можуть бути застосовані при плануванні логістичних проєктів постачань озброєнь Україні від союзників в умовах воєнного стану, зокрема по програмі Lend-Lease, де основними проблемами є планування маршрутів та визначення найбезпечніших та найефективніших шляхів доставки вантажів, враховуючи географічні, політичні та безпекові фактори, а також вибір транспортної інфраструктури (морська, залізнична, автомобільна та повітряна інфраструктура).

Список літератури

1. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) Seventh Edition / USA. Project Management Institute (PMI), 2021. 250 p.
2. The Standard for Portfolio Management. Fourth Edition / USA. Project Management Institute (PMI), 2017. 127 p.
3. P2M Bibelot (Overview of P2M Third Edition) / Japan. – Project Management Association of Japan (PMAJ), 2017. 20 p. URL: [https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot\(All\)_R3.pdf](https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot(All)_R3.pdf) (дата звернення: 14.09.2024).
4. Bushuyev S. D., Ivko A. V. Aspects analysis of syncretic project management methodology implementation in self-managed organizations project activities. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. Lviv, LSULS, Volume 29. 2024. P. 168–178. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.29.2024.17>
5. Jiang P., Zhang H. Real-time localization systems in logistics: An overview. *Logistics Research*. 2021. Volume 14(2). P. 109–124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12159-021-00245-0>
6. Bertolini M., Guido R. Warehouse and Logistics Automation: Achievements and Trends. *Automation in Industry Journal*. 2021. Volume 12(1). P. 40–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiij.2020.12.005>
7. Liao S. H., Tseng M. L. Logistics management using big data. *Journal of Smart Logistics*. 2018. Volume 5(2). P. 88–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jslog.2017.11.007>
8. Ivko A. V. Implementation aspects analysis of syncretic methodology in the management of infrastructure restoration projects *Automobile roads and road construction*. 2024. Vol. 115, Issue 2. P. 276–289. DOI: [10.32447/20784643.29.2024.17](https://doi.org/10.32447/20784643.29.2024.17)
9. Bushuyev S. D., Ivko A. V. Values spiral development method in the implementation of digitalization projects in syncretic methodology. *International Journal of Computing*, № 23(2), 2024. P. 177–186. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.23.4.3535>
10. Flyvbjerg B., Bruzelius N., Rothengatter W. Frontmatter. In: Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition. *Cambridge University Press*. 2003.
11. Flyvbjerg B. What You Should Know about Megaprojects and Why: An Overview. *Project Management Journal*. 2014. Volume 45. № 2. April-May. P. 6–19. DOI: [10.1002/pmj.21409](https://doi.org/10.1002/pmj.21409)
12. Hayat K., Hafeez M., Bilal K., Shabbir M.S. Interactive Effects of Organizational Structure and Team Work Quality on Project Success in Project Based Non Profit Organizations. *IRASD Journal of Management*. 2022. Volume 4(1), P. 84–103. DOI: <https://doi.org/10.52131/jom.2022.0401.0064>
13. Зачко О. Б. Інтелектуальне моделювання параметрів продукту інфраструктурного проєкту (на прикладі аеропорту "Львів"). *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. Т. 1. №-10. С. 92–94
14. Зачко О. Б. Управління безпекою складних інфраструктурних проєктів в системі цивільного захисту. *Управління проєктами: стан та перспективи*: матер. 10 Міжнар. наук.-практ. конф. Миколаїв: НУК. 2014. С. 91–92.
15. Зачко О. Б. Моделі, механізми та інформаційні технології портфельного управління розвитком складних регіональних систем безпеки життєдіяльності. Під заг. ред. Рака Ю.П. Монографія. Львів: Видавництво ЛДУ БЖД, 2015. 177 с.

16. ДСТУ EN 13775-6:2022. Залізничний транспорт. Вимірювання нових і модернізованих вантажних вагонів. Частина 6. Вантажні вагони з кількох взаємно жорстко з'єднаних одиниць та зчленовані вантажні вагони.
17. ДСТУ 2609-94 "Вантажні автомобільні перевезення. Терміни та визначення".

References

1. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition. USA. Project Management Institute (PMI). 2021. 250 p.
2. The Standard for Portfolio Management. Fourth Edition. USA. Project Management Institute (PMI), 2017. 127 p.
3. P2M Bibelot (Overview of P2M Third Edition) [Electronic resource] / Japan. Project Management Association of Japan (PMAJ), 2017. 20 p. available at: [https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot\(All\)_R3.pdf](https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot(All)_R3.pdf) (last accessed: 2024-09-14).
4. Bushuyev, S.D., Ivko, A. V. (2024), "Aspects analysis of syncretic project management methodology implementation in self-managed organizations project activities", *Bulletin of the Lviv State University of Life Safety*. Lviv, LSULS. Vol. 29. P. 168–178. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.29.2024.17>
5. Jiang, P., Zhang, H. (2021), "Real-time localization systems in logistics: A review", *Logistics Research*, 14(2), P. 109–124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12159-021-00245-0>
6. Bertolini, M., Guido, R. (2021), "Automation of warehouses and logistics: Achievements and trends", *Automation in Industry Journal*, 12(1), P. 40–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiij.2020.12.005>
7. Liao, S. H., Tseng, M. L. (2018), "Logistics management using big data", *Journal of Smart Logistics*, 5(2), P. 88–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jslog.2017.11.007>
8. Ivko, A. V. (2024), "Implementation aspects analysis of syncretic methodology in the management of infrastructure restoration projects", *Motorways and Road Construction*, Issue 115. Part 2. P. 276–289. DOI: [10.32447/20784643.29.2024.17](https://doi.org/10.32447/20784643.29.2024.17)
9. Bushuyev, S.D., Ivko, A. V. (2024), "Values spiral development method in the implementation of digitalization projects in syncretic methodology", *International Journal of Computing*, No. 23(2), 2024. P. 177–186. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.23.4.3535>
10. Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., Rothengatter, W. Frontmatter. In: Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition. Cambridge University Press; 2003.
11. Bent, Flyvbjerg, (2014), "What You Should Know about Megaprojects and Why: An Overview," *Project Management Journal*, Vol. 45, No. 2, April-May. P. 6–19. DOI: [10.1002/pmj.21409](https://doi.org/10.1002/pmj.21409)
12. Hayat, K., Hafeez, M., Bilal, K., Shabbir, M.S. (2022), "Interactive Effects of Organizational Structure and Team Work Quality on Project Success in Project Based Non Profit Organizations". *IRASD Journal of Management*, 4(1), P. 84–103. DOI: <https://doi.org/10.52131/jom.2022.0401.0064>
13. Zachko, O.B. (2013), "Intelligent Modeling of Infrastructure Project Product Parameters (on the Example of Lviv Airport)", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 1. No. 10. P. 92–94.
14. Zachko, O.B. (2014), "Safety management of complex infrastructure projects in the civil protection system". *Project management: state and prospects: materials. 10th International Scientific and Practical Conference*. Mykolaiv: NUK. P. 91–92.
15. Zachko, O.B. (2015), Models, mechanisms and information technologies of portfolio management of the development of complex regional life safety systems. Under the general editorship of Raka Yu.P. Monograph. Lviv: Publishing House of LSULS, 2015. 177 p.
16. DSTU EN 13775-6:2022. Railway transport. Measurement of new and modernized freight cars. Part 6. Freight wagons consisting of several rigidly connected units and articulated freight wagons.
17. DSTU 2609-94 "Freight transportation by road. Terms and definitions".

Надійшла (Received) 05.04.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Кобилкін Дмитро Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, учений секретар, Львів, Україна; e-mail: dmytrokobylkin@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2848-3572>

Зачко Олег Богданович – доктор технічних наук, професор, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, професор кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту, Заслужений діяч науки і техніки України, Львів, Україна; e-mail: zachko@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3208-9826>

Мицько Ростислав Ігорович – аспірант, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, кафедра права та менеджменту у сфері цивільного захисту, Львів, Україна; e-mail: mytsko@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-4358-4973>

Захарчишин Сергій Васильович – аспірант, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, кафедра права та менеджменту у сфері цивільного захисту, Львів, Україна; e-mail: zakharchyshyn.s@viknaroff.com.ua, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-0130-7345>

Elmas Chetin – доктор, професор, Газі Університет, Анкара, Туреччина; e-mail: cetinelmas@hotmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9472-2327>

Kobylkin Dmytro – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lviv State University of Life Safety, Academic Secretary, Lviv, Ukraine.

Zachko Oleh – Doctor of Technical Sciences (Engineering), Professor, Lviv State University of Life Safety, Professor of the Department of Law and Management in the Field of Civil Protection, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Lviv, Ukraine.

Mytsko Rostyslav – PhD student, Lviv State University of Life Safety, Department of Law and Management in the Field of Civil Protection, Lviv, Ukraine.

Zakharchyshyn Serhiy – PhD student, Lviv State University of Life Safety, Department of Law and Management in the Field of Civil Protection, Lviv, Ukraine.

Elmas Chetin – Dr., Professor, Gazi University, Ankara, Turkey.

MANAGEMENT OF CRITICAL PARAMETERS OF LOGISTICS AND INFRASTRUCTURE PROJECTS BY MEANS OF COMPUTER EXPERIMENT (ON THE EXAMPLE OF THE SECURITY AND DEFENSE SECTOR IN WAR CONDITIONS)

The subject of the research in the article is the management of critical parameters of infrastructure and logistics projects using the example of the security and defense sector in wartime by means of computer experiments using modern artificial intelligence tools, in particular multi-agent systems. **The purpose** of the study is to conduct a computer experiment to study the critical parameters of the functioning of infrastructure and logistics projects based on intelligent models that apply the theory of multi-agent systems. The article solves the **following tasks**: formalization of technical parameters of transport infrastructure; formalization of the subject area of logistics and infrastructure project management, modeling of critical parameters of the functioning of infrastructure and logistics projects under martial law, risk assessment of logistics and infrastructure projects based on the analysis of critical locations. The following **methods** are used: operations research methods; computer modeling methods, artificial intelligence technologies, in particular multi-agent systems; risk theories. **Research results**: the methodology for conducting a computer experiment modeling critical parameters of the functioning of infrastructure and logistics projects under martial law was considered. The implementation of logistics projects was analyzed depending on such criteria as distance, project time, load capacity, critical zones of logistics projects and qualitative benefits from implementation. A matrix of logistics project routes under martial law was developed. A qualitative and quantitative analysis of the risks of logistics and infrastructure projects under martial law was conducted. **Conclusions**: the obtained scientific results complement the methodology of infrastructure project management and make it possible to implement logistics projects under martial law and the worsening of the food security situation, in particular as alternatives to the Black Sea Grain Initiative, as well as infrastructure and logistics projects in the security and defense sector under war conditions. The results obtained can also be applied in planning logistics projects for the supply of weapons under martial law.

Keywords: infrastructure projects; logistics projects; safety management; security and defense sector.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Кобилкін Д.С., Зачко О.Б., Мицько Р.І., Захарчишин С.В., Elmas Chetin. Управління критичними параметрами логістичних та інфраструктурних проєктів засобами комп'ютерного експерименту (на прикладі сектору безпеки та оборони в умовах війни). *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2025. № 3 (33). С. 33–44. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.3.033>

Kobylkin, D., Zachko, O., Mytsko, R., Zakharchyshyn, S., Elmas Chetin. (2025), "Management of critical parameters of logistics and infrastructure projects by means of computer experiment (on the example of the security and defense sector in war conditions)", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (33), P. 33–44. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.3.033>