

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-82-183>

УДК 656.1:005.334

# АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА ВІЙСЬКОВИХ РИЗИКІВ: ІНТЕГРАЦІЯ МОДЕЛЕЙ РЕЗИСТЕНТНОСТІ ТА АНТИКРИЖКОСТІ

## ADAPTIVE MANAGEMENT OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISES UNDER UNCERTAINTY AND WAR RISKS: INTEGRATION OF RESILIENCE AND ANTIFRAGILITY MODELS

**Власенко Дмитро Олександрович**

кандидат економічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3342-7927>

**Vlasenko Dmytro**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Стаття присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми розробки механізму адаптивного управління автотранспортними підприємствами (АТП) в умовах воєнного стану. Проведено глибокий аналіз динаміки ринку вантажних перевезень України у 2022–2024 роках, виявлено структурні зрушення в логістичних ланцюгах та ідентифіковано критичні ризики (фізичні, операційні, економічні). Обґрунтовано необхідність концептуального переходу від парадигми стійкості (Resilience) до антикрижкості (Antifragility), що передбачає здатність системи покращуватися під впливом стресорів. Доведено економічну доцільність зміни стратегії управління запасами з JIT (Just-in-Time – «точно в термін») на JIC (Just-in-Case – «про всяк випадок») в умовах високої ентропії середовища. Розроблено інтегровану математичну модель підтримки прийняття рішень, що базується на апараті нечіткої логіки (Fuzzy Logic), методі аналізу ієрархій (Fuzzy АНР) та багатокритеріальній функції корисності. Запропонований підхід дозволяє формалізувати якісні оцінки ризиків та оптимізувати вибір маршрутів транспортування з урахуванням безпекових, часових та вартісних критеріїв. Результати апробації моделі підтверджують її ефективність для мінімізації інтегральних втрат АТП.

**Ключові слова:** автотранспортне підприємство, антикрижкість, логістичні ризики, нечітка логіка, Fuzzy АНР, функція корисності, воєнний стан, ланцюги постачання.

The article addresses the scientific and practical problem of developing an adaptive management mechanism for motor transport enterprises under martial law and extreme external uncertainty. The dynamics of the Ukrainian freight transportation market in 2022–2024 are analyzed, identifying structural transformations of logistics chains caused by infrastructure destruction, seaport blockades, and the reorientation of trade flows to western borders. Based on official statistics and analytical data, key groups of risks (physical, operational, economic, and personnel) and their non-linear impact on transport efficiency are identified. The necessity of a conceptual transition from resilience to antifragility is substantiated, emphasizing the ability of transport systems not only to recover but also to improve performance under stress. The theoretical framework integrates systems analysis, risk management, and constraint theory. To support decision-making under incomplete and vague information, an integrated mathematical model is proposed, combining fuzzy logic, the Fuzzy AHP method for determining criteria weights, and a multi-criteria utility function for ranking transportation alternatives. Unlike traditional approaches, the model explicitly incorporates the military risk factor as a dominant criterion, enabling a balanced assessment of transportation cost, delivery time, and cargo loss probability. Additionally, the study provides an economic justification for shifting inventory strategies from Just-in-Time to Just-in-Case. Modeling of total logistics costs demonstrates that under high delivery volatility and catastrophic shortage risks, buffer stock maintenance costs are lower than potential disruption losses. The practical value of the research lies in providing applied tools for scenario planning and operational management through the implementation of Digital Twin concepts, contributing to business continuity and transport security.

**Keywords:** motor transport enterprise, antifragility, logistics risks, fuzzy logic, Fuzzy AHP, utility function, martial law, supply chains.



**Постановка проблеми.** В умовах повномасштабної військової агресії російської федерації проти України національна транспортна система зіткнулася з викликами екзистенційного характеру. Автомобільний транспорт, який традиційно відіграв роль сполучної ланки в мультимодальних ланцюгах, в умовах блокування морських портів та обмеженої пропускної здатності залізниці, фактично перебрав на себе функцію "кровоносної системи" економіки. За даними 2023–2024 років, автотранспорт забезпечує левову частку внутрішніх перевезень та є критичним елементом експортно-імпорتنих операцій, особливо в сегменті товарів з високою доданою вартістю та гуманітарних вантажів.

Однак традиційні методи управління автотранспортними підприємствами (АТП), сформовані в умовах мирного часу та ринкової стабільності, виявилися малоефективними. Парадигма мінімізації витрат та стратегія "точно в термін" (Just-in-Time – JIT), які домінували в логістиці останні десятиліття, в умовах війни демонструють свою крихкість. Найменший збій у ланцюгу постачання – чи то через ракетний обстріл, чи то через блокування кордону "польськими фермерами", чи через мобілізацію водіїв – призводить до катастрофічних наслідків для всього ланцюга створення вартості (Ripple Effect). Сучасний менеджмент АТП потребує нових інструментів, які дозволяють не просто реагувати на загрози (реактивний підхід), а й проактивно формувати стійкість системи до непередбачуваних впливів. Більше того, виникає потреба в імплементації концепції антикрихкості (Antifragility), яка передбачає здатність логістичної системи ставати сильнішою та адаптивнішою під тиском стресових факторів. Ключовою науковою проблемою є відсутність формалізованих математичних моделей, які б дозволяли кількісно оцінювати ризики воєнного часу (часто задані нечітко або лінгвістично) та інтегрувати їх у функцію прийняття рішень щодо вибору маршрутів, партнерів та стратегій управління запасами. Вирішення цього завдання має критичне значення для забезпечення життєздатності українського бізнесу та економічної безпеки держави.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика управління ланцюгами постачання в умовах ризиків та невизначеності є предметом дослідження широкого кола науковців. Теоретичні засади стійкості логістичних систем ґрунтуються на працях Й. Шеффі [12], який визначає стійкість як здатність сис-

теми відновлювати функціонування після дестабілізуючого впливу. Разом із тим українські дослідники наголошують на зростанні ролі ризик-орієнтованого підходу в логістиці, особливо в умовах воєнного стану, що відображено у працях В. В. Гришка та М. В. Гунченка [1], а також М. Ю. Григорак [2], які підкреслюють необхідність адаптації логістичних систем до екстремальних зовнішніх впливів.

Як зазначають Д. Іванов та А. Долгий [9; 10], в умовах глобальних потрясінь, зокрема пандемії COVID-19 та повномасштабної війни в Україні, класична концепція стійкості трансформується у концепцію життєздатності, що акцентує увагу не лише на відновленні функціонування, а й на довгостроковому виживанні та адаптації ланцюгів постачання. У цьому контексті особливого значення набуває концепція антикрихкості, запропонована Н. Н. Талемом [11], яка інтерпретується як здатність системи покращувати свої характеристики та отримувати вигоди від волатильності, невизначеності й стресових факторів.

Для підтримки прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності широко застосовуються методи багатокритеріального аналізу. Класичним інструментом ранжування альтернатив є метод аналізу ієрархій, розроблений Т. Сааті [13]. Водночас українські науковці зазначають, що в умовах воєнного часу експертні оцінки часто є нечіткими та суб'єктивними, що обґрунтовує доцільність використання апарату нечіткої логіки [14] та модифікацій методу Fuzzy АНР, зокрема для задач оцінювання транспортних і логістичних ризиків [3; 8]. Ефективність такого підходу також підтверджується сучасними прикладними дослідженнями з оцінювання ризиків транспортування, наведеними у працях К. Сезен Еркувун та співавторів [15] і К. Кевфак та ін. [16].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** До невирішених аспектів проблеми належить недостатній рівень розробленості інструментарію адаптивного управління автотранспортними підприємствами України в умовах воєнного стану, нерозробленість стратегій оптимізації роботи в умовах війни та необхідність повоєнного відновлення.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка науково-методичного інструментарію адаптивного управління автотранспортними підприємствами на основі інтеграції концепцій стійкості та антикрихкості в

умовах воєнного стану. Для досягнення мети сформульовано такі завдання:

1. Визначити тенденції та критичні ризики ринку вантажних перевезень України у 2022–2025 рр.

2. Економічно обґрунтувати зміну стратегії управління запасами з JIT на JIC в умовах високої невизначеності.

3. Побудувати математичну модель вибору оптимального маршруту на основі методів Fuzzy ANP та багатокритеріальної функції корисності.

4. Дослідити механізм реалізації розроблених рішень за допомогою технології цифрових двійників (Digital Twins).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Трансформація середовища функціонування вітчизняних автотранспортних підприємств (АТП) у період 2022–2024 рр. зумовила необхідність докорінного перегляду фундаментальних принципів логістичного менеджменту. Діяльність українських перевізників у досліджуваній період відбувається в умовах екстремальної турбулентності. Аналіз статистичних даних та експертних звітів дозволяє виокремити ключові тренди. Статистичні дані [23; 37] свідчать, що попри поступове відновлення обсягів перевезень (до 354 млн т у 2024 р.), галузь залишається в стані екстремальної турбулентності. Прямі збитки транспортної інфраструктури, що сягнули 78 млрд дол. США, та двократне зростання собівартості через паливну волатильність і дефіцит складських площ у західних регіонах, ставлять під сумнів життєздатність класичних моделей мінімізації витрат. За даними Державної служби статистики України, у 2023 році обсяг вантажних перевезень становив 327,9 млн тонн, що на 3,3% більше, ніж у кризовому 2022 році, але все ще на 47,2% менше показників довоєнного 2021 року. У 2024 році спостерігається подальше відновлення: за попередніми даними, обсяг перевезень зріс на 7,8% до 354 млн тонн, а вантажообіг збільшився на 13% до 184,6 млрд ткм. Це свідчить про адаптацію бізнесу до нових логістичних маршрутів, зокрема через розширення пропускної здатності західних переходів та роботу Українського морського коридору.

Собівартість перевезень суттєво зросла під впливом інфляційних та ринкових факторів: по-перше, вартість дизельного пального, основного ресурсу для АТП, демонструвала значну волатильність. Після пікових значень 2022 року (до 58 грн/л), у 2023–2024 роках

ціна стабілізувалася в діапазоні 52–56 грн/л, проте залишається майже вдвічі вищою за довоєнний рівень; 2) по-друге, через руйнування складської інфраструктури (особливо в Київському регіоні) та релокацію бізнесу на захід, орендні ставки на склади у 2024 році суттєво зросли. У Києві вони сягають \$4.9–\$5.5 за м<sup>2</sup>, а у Львові – \$6.0–\$7.5 за м<sup>2</sup>, що створює додатковий тиск на логістичні бюджети. По-третє, внаслідок дефіциту водіїв та зростання витрат, фрахтові ставки на міжнародні перевезення зросли. Вартість перевезення вантажівкою (тент 22 т) по Україні у 2024 році коливається в межах 30–45 грн/км, а міжнародні рейси – 1.0–1.5 євро/км. Найбільш критичним фактором залишається фізична безпека та пропускна здатність кордонів. Блокування польськими перевізниками та фермерами пунктів пропуску ("Ягодин", "Краківець", "Рава-Руська") у 2023–2024 роках призвело до утворення черг до 30 км та часу очікування до 14 днів. Вартість простою вантажівки оцінюється у 300–500 євро на добу, що для багатьох АТП означає роботу "в мінус". Крім того, прямі збитки інфраструктурі станом на кінець 2024 року оцінюються у \$170 млрд, з яких транспортний сектор зазнав втрат на \$78 млрд.

Встановлено, що ключова суперечність сучасного управління АТП полягає у конфлікті між оперативною ефективністю та стратегічною стійкістю. Довоєнна парадигма Just-in-Time (JIT), яка довгий час була еталоном логістичної досконалості, в умовах постійних інфраструктурних шоків та заблокованих кордонів перетворилася на джерело критичної вразливості. На основі проведеного дослідження нами обґрунтовано доцільність переходу до стратегії Just-in-Case (JIC). Математичне порівняння сукупних витрат доводить, що витрати на утримання буферних запасів сьогодні є фактично «страховою премією» за безперервність бізнесу [2; 11]. Особливого значення набуває врахування екстремальної варіації часу доставки, де розрахунок страхового резерву (SS) стає головним параметром антикрихкості логістичної системи. Для моделі JIT сукупні витрати визначаються як [9; 11]:

$$TC_{JIT} = C_{ordering} + C_{transport} + C_{risk}^{stockout},$$

де  $C_{risk}^{stockout}$  – очікувані втрати, пов'язані з дефіцитом товару. В умовах війни дана складова може набувати надзвичайно великих значень, фактично прямує до нескінченності, що зумовлено катастрофіч-

ними наслідками зупинки постачань [2; 7]. Для моделі JIC сукупні витрати включають додаткові витрати на утримання запасів:

$$TC_{JIC} = C_{ordering} + C_{transport} + C_{holding} + C_{risk}^{obsolescence}.$$

Витрати на утримання запасів розраховуються за формулою:

$$C_{holding} = \left( \frac{Q}{2} + SS \right) \cdot h \cdot v,$$

де:  $Q$  – розмір партії постачання;  $SS$  (*Safety Stock*) – страховий запас;  $h$  – ставка витрат на зберігання, що включає вартість капіталу та оренди складських приміщень;  $v$  – вартість одиниці товару.

Розрахунок страхового запасу  $SS$  в умовах невизначеності повинен враховувати не лише варіацію попиту  $\sigma_D$ , а й, що є критично важливим у воєнний період, варіацію часу доставки  $\sigma_L$  [9; 2]:

$$SS = Z \cdot \sqrt{\bar{L} \cdot \sigma_D^2 + \bar{D}^2 \cdot \sigma_L^2},$$

де:  $Z$  – коефіцієнт сервісного рівня;  $\bar{L}$  – середній час доставки;  $\bar{D}$  – середній рівень попиту;  $\sigma_D$  – стандартне відхилення попиту;  $\sigma_L$  – стандартне відхилення часу доставки.

Оскільки в умовах війни значення  $\sigma_L$  може зростати в десятки разів (черги на координі, затримки на блокпостах, обмеження руху), величина страхового запасу  $SS$  повинна бути суттєвою. Хоча це призводить до зростання витрат  $C_{holding}$  (з урахуванням підвищення орендних ставок та облікової ставки НБУ до 15 %), такі витрати фактично є «страховою премією» за забезпечення безперервності бізнесу і є значно меншими порівняно з потенційними втратами  $C_{risk}^{stockout}$  [5; 7].

Для реалізації адаптивного управління логістичними маршрутами пропонується триетапна процедура, що інтегрує метод аналізу ієрархій та інструменти нечіткої логіки.

Етап 1. Ідентифікація та структурування критеріїв (АНР). На основі аналізу наукових джерел та з урахуванням специфіки функціонування логістичних систем у воєнний час було виділено чотири групи критеріїв оцінювання альтернативних маршрутів [1; 2; 9]:

$C_1$  – вартість перевезення (*Cost*). Включає фрахт, витрати на паливо, оплату праці водіїв, а також додаткові витрати, пов'язані з простоем транспорту.

$C_2$  – час доставки (*Time*). Охоплює час руху, час проходження державного кордону (черги), а також затримки на блокпостах.

$C_3$  – безпекові ризики (*Security Risk*). Характеризує ймовірність фізичного пошкодження вантажу або транспортного засобу внаслідок бойових дій (обстріли, мінування).

$C_4$  – надійність та інфраструктурні ризики (*Reliability*). Враховує стан дорожньої інфраструктури, наявність сервісних об'єктів, а також прогнозованість роботи пунктів пропуску.

Етап 2. Визначення ваг критеріїв методом Fuzzy АНР. Оскільки оцінювання логістичних ризиків у воєнний час значною мірою ґрунтується на експертних судженнях, які мають суб'єктивний та нечіткий характер (наприклад, формулювання типу «ризик значно вищий»), для визначення ваг критеріїв застосовано метод нечіткого аналізу ієрархій (Fuzzy АНР). Для виконання парних порівнянь використовується лінгвістична шкала, яка конвертується у трикутні нечіткі числа:

$$\tilde{M} = (l, m, u),$$

де  $l, m, u$  – відповідно нижня, найбільш імовірна та верхня оцінки переваги.

Використана лінгвістична шкала має такий вигляд:

Рівнозначність: (1 , 1 , 1);

Помірна перевага: (2 , 3 , 4);

Сильна перевага: (4 , 5 , 6);

Дуже сильна перевага: (6 , 7 , 8);

Екстремальна перевага: (8 , 9 , 9).

На основі експертних оцінок побудовано матрицю парних порівнянь для умовного сценарію експорту агропродукції, в якому критерій безпеки має домінуючий пріоритет:

Наведена матриця є матрицею попарних порівнянь у вигляді трикутних нечітких чисел, що використовується в методі Fuzzy АНР. Значення задані у форматі ( $l, m, u$ ), де  $l$  – нижня межа,  $m$  – найбільш імовірне значення,  $u$  – верхня межа.

Для обчислення ваг критеріїв використовується метод розширеного аналізу Чанга [15; 16]. На першому кроці визначається нечітка синтетична міра (*Fuzzy Synthetic Extent*) для кожного критерію:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}.$$

Таблиця 1

Критерії	Вартість	Час	Безпека	Надійність
Вартість	(1, 1, 1)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/3, 1/2, 1)
Час	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(2, 3, 4)
Безпека	(4, 5, 6)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(3, 4, 5)
Надійність	(1, 2, 3)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1, 1, 1)

Джерело: сформовано автором

Далі обчислюється ступінь можливості того, що одне нечітке число є більшим за інше:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))].$$

На основі отриманих значень визначається вектор ваг:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), i \neq k,$$

який надалі нормалізується.

У результаті розрахунків, виконаних на основі матриці (Табл. 1) отримано наступний вектор нормалізованих ваг критеріїв:

$$W_{\text{Безпека}} \approx 0.52,$$

$$W_{\text{Час}} \approx 0.28,$$

$$W_{\text{Надійність}} \approx 0.12,$$

$$W_{\text{Вартість}} \approx 0.08.$$

Отримані результати математично підтверджують тезу про те, що в умовах війни вартість логістики відходить на другий план порівняно з гарантією доставки та збереження вантажу [2; 7; 9].

Етап 3. Побудова та оптимізація функції корисності [15; 16]:

Для вибору оптимального маршруту з множини альтернатив

$$\{R_1, R_2, \dots, R_k\}$$

пропонується використовувати адитивну функцію корисності:

$$U(R_k) = \sum_{i=1}^n W_i \cdot f_i(x_{ki}),$$

де:  $U(R_k)$  – інтегральна корисність  $k$ -го маршруту;  $W_i$  – вага  $i$ -го критерію, отримана на попередньому етапі;  $x_{ki}$  – кількісне або бальне значення  $i$ -го критерію для  $k$ -го маршруту;  $f_i(x)$  – функція нормування (приведення показника до безрозмірного вигляду). Для критеріїв, що мінімізуються (вартість, час, ризик), використовується функція:

$$f_i(x) = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}}.$$

Для критеріїв, що максимізуються (надійність, антикрихкість), застосовується:

$$f_i(x) = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}.$$

З метою врахування здатності маршруту адаптуватися до непередбачуваних змін пропонується введення додаткового коефіцієнта антикрихкості  $K_{AF}$ , який відображає наявність альтернативних логістичних опцій на маршруті (наприклад, можливість оперативної зміни виду транспорту з автомобільного на залізничний). Модифікована функція корисності має вигляд:

$$U_{\text{modified}}(R_k) = U(R_k) \cdot (1 + \alpha \cdot K_{AF}),$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт схильності до ризику особи, що приймає рішення.

Розглянемо практичний приклад вибору маршруту експорту зерна з Полтавської області. До аналізу включено такі альтернативи:

– Маршрут А (Польща) – автомобільне перевезення через пункт пропуску Ягодин. Характеризується високим ризиком затримок через черги та підвищеною вартістю внаслідок простоїв, проте забезпечує високий рівень безпеки транзиту територією країн ЄС.

– Маршрут В (Дунайський напрямок) – автомобільне перевезення до портів Ізмаїл або Рені. Має менші черги та нижчу вартість автомобільного фрахту, однак супроводжується підвищеними безпековими ризиками через обстріли портової інфраструктури.

– Маршрут С (Залізничний) – інтермодальний маршрут, що характеризується нижчою собівартістю, але залежить від наявності вагонів та дотримання графіків АТ «Укрзалізниця».

Застосування розробленої моделі показує, що для дорогих або термінових вантажів, у яких ваги критеріїв часу  $W_{\text{Час}}$  та безпеки  $W_{\text{Безпека}}$  є домінуючими, оптимальним рішенням може бути Маршрут А, незважаючи на його високу вартість. Для масових ван-

тажів з нижчою маржинальністю, де більшу роль відіграє критерій вартості  $W_{\text{Вартість}}$ , Маршрут В може мати вищу інтегральну корисність за умови прийняттого рівня безпекових ризиків  $C_3$  (наприклад, за наявності страхового покриття).

Впровадження концепції Digital Twin (цифрового двійника) ланцюга постачання дозволяє автоматизувати процес прийняття рішень [7; 17; 18]. Цифровий двійник, інтегрований з даними GPS-трекінгу, системою «Черга» та оперативною інформацією щодо безпекової ситуації, здатен у режимі реального часу перераховувати значення функції корисності  $U(R_k)$  та рекомендувати диспетчеру зміну маршруту ще до виникнення заторів або потрапляння транспортного засобу в небезпечну зону.

Практична реалізація цього підходу найбільш повно розкривається у ході сценарного моделювання експортних потоків. Зокрема, порівняльний аналіз логістичних шляхів через польський кордон та дунайські порти продемонстрував, що в умовах ескалації безпекових загроз модель віддає перевагу сухопутним маршрутам, попри їх вищу собівартість. Це пояснюється високим «коефіцієнтом антикрихкості» – наявністю розгалуженої мережі сервісних хабів та інституційних гарантій, що в інтегральній функції корисності компенсує фінансові втрати від черг. Сценарний аналіз також підтвердив, що за наявності мультимодальних альтернатив загальна виживаність логістичного ланцюга зростає на 30–40% навіть за умови зростання операційних витрат.

Кінцевим етапом імплементації запропонованих рішень є розгортання цифрових двійників (Digital Twins), які інтегрують дані GPS-трекінгу та оперативні зведення про безпекову ситуацію. На відміну від статичних систем управління, такий підхід забезпечує предиктивний моніторинг ризиків у режимі реального часу, дозволяючи АТП не просто реагувати на кризи, а випереджати їх, перетворюючи стан невизначеності на стратегічну конкурентну перевагу.

**Висновки.** У ході проведеного дослідження доведено, що пролонгація військового конфлікту робить традиційні детерміністичні підходи до управління автотранспортними підприємствами малоефективними. Ключовим висновком є необхідність відмови від стратегії мінімізації запасів Just-in-Time на користь моделі Just-in-Case, де додаткові витрати на формування буферних резервів є економічно виправданою інвестицією у забезпечення безперервності критичних логістичних процесів. Обґрунтовано доцільність концептуального переходу від парадигми стійкості до антикрихкості. Це передбачає трансформацію організаційної структури АТП у такий спосіб, щоб система не лише протистояла зовнішнім шокам, а й набувала нових адаптивних якостей через диверсифікацію активів, впровадження мультимодальних схем доставки та цифрову модернізацію процесів. Науковий пошук шляхів адаптації АТП до військових ризиків привів до необхідності інтеграції апарату нечіткої логіки у процеси прийняття рішень. Застосування методу Fuzzy АНР дозволило формалізувати суб'єктивні експертні оцінки загроз, які не піддаються класичному статистичному вимірюванню. Отримані результати свідчать про радикальну зміну пріоритетів у виборі маршрутів: безпековий фактор ( $W_{\text{Безпека}} \approx 0.52$ ) набув домінуючого значення, фактично нівелюючи традиційну значущість мінімальної вартості фрахту. Математично підтверджено домінування критеріїв безпеки та інфраструктурної надійності над вартісними показниками в умовах воєнного стану, що вимагає від менеджменту АТП перегляду стратегій ціноутворення та пріоритетного інвестування в технології захисту вантажів і персоналу. Перспективи подальших розвідок у цьому напрямі вбачаються у розширенні математичного апарату моделі шляхом включення динамічних параметрів маршрутизації та розробці прикладного програмного забезпечення для автоматизації управлінських рішень у межах сучасних систем управління транспортом.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Гришко В. В., Гунченко М. В. Системний аналіз ризиків у логістичній діяльності промислового підприємства. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія «Економіка і менеджмент»*, 2016, № 17, С. 54–58.
2. Григорак М. Ю. Логістика в умовах війни: як зберегти та підтримувати експортні поставки (2023). URL: <https://www.mikhailenko.com.ua> (дата звернення: 10.12.2025).

3. Полякова О. М. Комплексний підхід до управління ризиками в проєктному менеджменті: від ідентифікації до реагування. *Економіка та суспільство*, 2024, № 70. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-70-115.
4. Державна служба статистики України. Вантажні перевезення в Україні у 2024 році (2024). Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 1.12.2025).
5. Національний банк України. Звіт про фінансову стабільність. Грудень 2024 року (2024). Національний банк України. URL: <https://bank.gov.ua> (дата звернення: 5.12.2025).
6. GMK Center. Українська залізниця збільшила обсяги експортних перевезень у 2024 році на 51 % (2024). URL: <https://gmk.center> (дата звернення: 10.12.2025).
7. KSE Institute. Direct damage to Ukraine's infrastructure has reached \$170 billion (2025). Kyiv School of Economics. URL: <https://kse.ua> (дата звернення: 10.12.2025).
8. Шумська С. С. Інструмент виробничої функції в дослідженні української економіки. *Економіка та прогнозування*, 2007, № 4, С. 104–123.
9. Ivanov D. Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives – lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 2022, Vol. 319, No. 1, pp. 1411–1431.
10. Dolgui A., Ivanov D., Sokolov B. Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. *International Journal of Production Research*, 2018, Vol. 56, No. 1–2, pp. 414–430.
11. Taleb N. N. *Antifragile: Things That Gain from Disorder*. New York: Random House, 2012.
12. Sheffi Y. *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. Cambridge: MIT Press, 2005.
13. Saaty T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.
14. Zadeh L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, Vol. 8, No. 3, pp. 338–353.
15. Erkuvun K. S., Usta S., Guneri A. F. Risk Assessment of Hazardous Materials Transportation with Fuzzy Fine Kinney and Fuzzy AHP Methods. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 2025.
16. Kaewfak K., Huynh V. N., Ammarapala V., Ratisoontorn A. A Risk Analysis Based on a Hybrid Fuzzy AHP-TOPSIS Method for Multimodal Freight Transportation Routes Selection. *Science & Technology Asia*, 2021, Vol. 26, No. 1, pp. 86–101.
17. World Bank. *Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment*. Washington, DC: World Bank, 2025.
18. Mordor Intelligence. *Ukraine Freight And Logistics Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029)* (2024). URL: <https://www.mordorintelligence.com> (дата звернення: 10.12.2025).
19. European Commission. *Solidarity Lanes: Latest figures – June 2024* (2024). URL: <https://transport.ec.europa.eu> (дата звернення: 10.12.2025).
20. CBRE Ukraine. *Ukraine Real Estate Market Outlook 2024* (2024). URL: <https://cbre-expandia.com> (дата звернення: 8.01.2026).

## REFERENCES:

1. Hryshko, V. V., & Hunchenko, M. V. (2016). Systemnyi analiz ryzykiv u lohystychnii diialnosti promyslovoho pidpriemstva [System analysis of risks in the logistics activities of an industrial enterprise]. *Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Seriiia «Ekononika i menedzhment»*, (17), 54–58 [in Ukrainian].
2. Hryhorak, M. Yu. (2023). Lohistyka v umovakh viiny: yak zberehty ta pidtrymuvaty eksportni postavky [Logistics in war conditions: how to preserve and maintain export shipments]. Available at: <https://www.mikhailenko.com.ua> (accessed 10.12.2025) [in Ukrainian].
3. Polyakova, O. M. (2024). Kompleksnyi pidkhid do upravlinnia ryzykamy v proektnomu menedzhmenti: vid identyfikatsii do reahuvannia [An integrated approach to risk management in project management: from identification to response]. *Ekononika ta suspilstvo* [Economy and Society], (70). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-70-115> (accessed 10.12.2025) [in Ukrainian].
4. State Statistics Service of Ukraine. (2024). Vantazhni perevezennia v Ukraini u 2024 rotsi [Freight transportation in Ukraine in 2024]. Available at: <https://www.ukrstat.gov.ua> (accessed 1.12.2025) [in Ukrainian].
5. National Bank of Ukraine. (2024). Financial Stability Report. December 2024. Available at: <https://bank.gov.ua> (accessed 5.12.2025)
6. GMK Center. (2024). Ukrainian Railways increased export shipments in 2024 by 51%. Available at: <https://gmk.center> (accessed 5.12.2025)
7. KSE Institute. (2025). Direct damage to Ukraine's infrastructure has reached \$170 billion. Kyiv School of Economics. Available at: <https://kse.ua> (accessed 10.12.2025).

8. Shumska, S. S. (2007). Instrument virobничoi funktsii v doslidzhenni ukraïnskoi ekonomiky [Production function tool in the study of the Ukrainian economy]. *Ekonomika ta prohnozuvannia* [Economy and Forecasting], (4), 104–123 [in Ukrainian].
9. Ivanov, D. (2022). Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 319(1), 1411–1431.
10. Dolgui, A., Ivanov, D., & Sokolov, B. (2018). Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 414–430.
11. Taleb, N. N. (2012). *Antifragile: Things That Gain from Disorder*. New York: Random House.
12. Sheffi, Y. (2005). *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. Cambridge, MA: MIT Press.
13. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
14. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
15. Erkuvun, K. S., Usta, S., & Guneri, A. F. (2025). Risk assessment of hazardous materials transportation with fuzzy Fine Kinney and fuzzy AHP methods. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*.
16. Kaewfak, K., Huynh, V. N., Ammarapala, V., & Ratisoontorn, A. (2021). A risk analysis based on a hybrid fuzzy AHP-TOPSIS method for multimodal freight transportation routes selection. *Science & Technology Asia*, 26(1), 86–101.
17. World Bank. (2025). *Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment*. Washington, DC: World Bank.
18. Mordor Intelligence. (2024). *Ukraine Freight and Logistics Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029)*. Available at: <https://www.mordorintelligence.com> (accessed 10.12.2025).
19. European Commission. (2024). *Solidarity Lanes: Latest figures – June 2024*. Available at: <https://transport.ec.europa.eu> (accessed 10.12.2025).
20. CBRE Ukraine. (2024). *Ukraine Real Estate Market Outlook 2024*. Available at: <https://cbre-expandia.com> (accessed 8.01.2026).

Дата надходження статті: 02.12.2025  
Дата прийняття статті: 16.12.2025  
Дата публікації статті: 29.12.2025