

Кушч Артем Андрійович

аспірант ОНП «Економіка»

Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Kushch Artem

Postgraduate of the

Kharkiv National Automobile and Highway University

ORCID: 0009-0009-8032-5529

**ІМІТАЦІЙНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ
АВТОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ В УМОВАХ ВОЄННОЇ
НЕСТАБІЛЬНОСТІ**

**SIMULATION-BASED FORECASTING OF DEVELOPMENT
SCENARIOS FOR THE ROAD TRANSPORT SYSTEM UNDER
CONDITIONS OF WARTIME INSTABILITY**

***Анотація.** Вступ. У вступі окреслено ключові виклики, що постають перед автотранспортною системою України в умовах воєнної нестабільності. Збройна агресія спричинила руйнування критичної інфраструктури, дестабілізацію логістичних ланцюгів, порушення мобільності населення та дефіцит паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів. У таких умовах традиційні механізми управління втрачають ефективність, що зумовлює потребу у формуванні нових адаптивних моделей розвитку. Особливої актуальності набуває використання інструментів імітаційного моделювання, які дозволяють враховувати сценарну багатоваріантність та ризикогенність середовища. Прогнозування розвитку автотранспортної системи на основі імітаційних підходів спрямоване на формування цілісного управлінського*

бачення в умовах стратегічної невизначеності та загроз безпеці транспортного сектору.

Мета. Метою дослідження є обґрунтування та імітаційне прогнозування сценаріїв розвитку автотранспортної системи України в умовах воєнної нестабільності з подальшим конструюванням логіко-структурної моделі управління її інноваційним розвитком. Дослідження спрямоване на формалізацію ключових складових інноваційної стійкості, визначення індикаторів оцінювання та побудову інтегрального показника ефективності, що дає змогу виявити оптимальні управлінські рішення для різних стратегічних сценаріїв функціонування транспортної системи в кризових умовах.

Матеріали і методи. 1) нормативно-правові акти, що регламентують функціонування автотранспортної системи України в умовах воєнного стану; 2) офіційні звіти міжнародних та національних інституцій з питань транспорту, інфраструктури та інноваційного розвитку; 3) наукові праці вітчизняних і зарубіжних дослідників, присвячені питанням управління, цифровізації та адаптації транспортної сфери в умовах криз.

У процесі дослідження застосовано загальнонаукові та спеціальні методи: аналіз і синтез (для виявлення впливу зовнішніх загроз на транспортну систему); теоретичного узагальнення (для виділення складових інноваційної моделі управління); системного підходу (для побудови логіко-структурної моделі); формалізації (для побудови матриці взаємозв'язків загроз, індикаторів та ефектів); імітаційного моделювання (для прогнозування ефективності сценаріїв функціонування транспортної системи в умовах воєнної нестабільності).

Результати. У межах дослідження здійснено комплексну характеристику зовнішніх загроз, що впливають на функціонування автотранспортної системи України в умовах війни. Визначено ключові

ризиками: фізичне руйнування інфраструктури, обмеження мобільності, нестача енергоресурсів, зміни логістичного попиту та порушення ланцюгів постачання. Запропоновано логіко-структурну модель управління інноваційним розвитком автотранспортної системи, що включає такі складові: ресурсна забезпеченість, інституційна координація, цифровізація управління та гнучкість інфраструктурних рішень. Для кожної складової визначено систему індикаторів оцінювання.

На основі побудованої моделі розроблено динамічну матрицю впливу зовнішніх факторів на управлінські рішення з подальшою формалізацією сценарних взаємозв'язків. Побудовано сценарне дерево адаптації транспортної системи до умов воєнної нестабільності, що охоплює інерційний, адаптивний та інноваційний сценарії. Запропоновано методичку обчислення інтегрального показника ефективності з урахуванням вагових коефіцієнтів складових. Результати візуалізовано за допомогою 3D-моделі поверхні ефективності автотранспортної системи в координатах інвестиційної, соціальної та енергетичної складових.

Перспективи. Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні побудованої моделі шляхом поглиблення просторової деталізації та інтеграції з геоінформаційними системами. Доцільним вбачається також адаптація імітаційного інструментарію до специфіки окремих регіонів України, з урахуванням диспропорцій транспортного навантаження та нерівномірного розподілу інфраструктурних ресурсів. Крім того, обґрунтовано необхідність розробки цифрових платформ управління сценаріями з використанням штучного інтелекту та модулів динамічного реагування на воєнні виклики.

Ключові слова: *автотранспортна система, воєнна нестабільність, імітаційне моделювання, логіко-структурна модель, сценарне прогнозування, інноваційний розвиток, управлінські рішення, індикатори ефективності, адаптивне управління.*

Summary. *Introduction.* The introduction outlines the key challenges faced by Ukraine's road transport system under conditions of wartime instability. Armed aggression has led to the destruction of critical infrastructure, destabilization of logistics chains, disruption of population mobility, and shortages of fuel, energy, and material resources. Under such circumstances, traditional management mechanisms lose effectiveness, creating a need for new adaptive development models. Simulation modeling tools gain particular relevance as they enable consideration of scenario-based variability and the risk-prone nature of the environment. Forecasting the development of the road transport system through simulation approaches is aimed at forming an integrated strategic vision under conditions of uncertainty and threats to the security of the transport sector.

Purpose. The purpose of the study is to substantiate and simulate the forecasting of development scenarios for Ukraine's road transport system under wartime instability, followed by the construction of a logic-structural model for managing its innovative development. The study focuses on the formalization of key components of innovation resilience, development of evaluation indicators, and construction of an integrated performance index to determine optimal managerial decisions across strategic scenarios of transport system functioning in crisis conditions.

Materials and methods. The research is based on: 1) regulatory acts governing the functioning of Ukraine's transport system under martial law; 2) official reports of international and national institutions on transportation, infrastructure, and innovation development; 3) scientific works by domestic and foreign scholars devoted to the management, digitalization, and adaptation of transport systems in times of crisis. The methodology includes general scientific and specialized methods: analysis and synthesis (to identify the influence of external threats on the transport system); theoretical generalization (to identify the components of the innovation management model); systems approach (to

construct the logic-structural model); formalization (to build the matrix of relationships among threats, indicators, and effects); simulation modeling (to forecast the effectiveness of scenarios for the transport system functioning under wartime conditions).

Results. The study provides a comprehensive characterization of external threats impacting Ukraine's road transport system during the war. Key risks were identified, including infrastructure damage, mobility restrictions, energy shortages, changes in logistics demand, and supply chain disruptions. A logic-structural model of innovative transport system management was developed, including components such as resource provision, institutional coordination, digital governance, and infrastructure flexibility. Evaluation indicators were defined for each component.

A dynamic matrix was created to illustrate the impact of external factors on managerial decisions, along with formalized scenario relationships. A scenario tree for transport system adaptation under wartime instability was constructed, covering inertial, adaptive, and innovative scenarios. A methodology for calculating an integrated performance index based on weighted component coefficients was proposed. The results were visualized through a 3D model of the transport system's performance surface across investment, social, and energy axes.

Discussion. Future research directions include improving the proposed model through enhanced spatial detailing and integration with geographic information systems. It is also advisable to adapt the simulation tools to regional specificities within Ukraine, considering imbalances in transport loads and uneven distribution of infrastructure resources. Moreover, the development of digital scenario management platforms utilizing artificial intelligence and dynamic response modules to military threats is justified.

Key words: *road transport system, wartime instability, simulation modeling, logic-structural model, scenario forecasting, innovative development, managerial decisions, performance indicators, adaptive management.*

Постановка проблеми. Функціонування автотранспортної системи як ключового сегмента національної інфраструктури України набуло безпрецедентного рівня ускладнення внаслідок тривалих воєнних дій, що супроводжуються руйнуванням об'єктів логістики, дефіцитом ресурсів, зниженням мобільності та системними ризиками порушення транспортних ланцюгів.

У цих умовах традиційні підходи до управління розвитком транспортної галузі, що спираються переважно на статичні методи оцінювання та прогнозування, виявили свою обмеженість і недостатню ефективність.

Невідповідність таких моделей динаміці сучасних кризових процесів актуалізує потребу пошуку нових інструментів, здатних забезпечувати обґрунтоване прийняття управлінських рішень у режимі реального часу.

Однією з провідних наукових проблем, що має істотне значення як у теоретичному, так і в прикладному вимірі, є розроблення підходів до сценарного прогнозування та моделювання розвитку автотранспортної системи в умовах високої невизначеності та багатofакторного впливу деструктивних чинників. Розв'язання цього завдання передбачає не лише інтеграцію методів системної динаміки, імітаційної аналітики та сценарного аналізу, а й формування інституційно-цифрових механізмів, що дозволяють підвищувати адаптивність і стійкість автотранспортної мережі.

Практична значущість проблеми зумовлюється тим, що транспортна система у період воєнних викликів виконує критичні функції: забезпечує логістику гуманітарних та оборонних вантажів, сприяє евакуації населення, підтримує життєздатність економічних зв'язків між регіонами.

Недостатня здатність системи оперативно реагувати на втрати ресурсів, обмеження мобільності чи руйнування інфраструктури створює ризики масштабних соціально-економічних наслідків, у тому числі зриву оборонних операцій і гуманітарних місій.

Таким чином, дослідження імітаційного прогнозування сценаріїв розвитку автотранспортної системи в умовах воєнної нестабільності є не лише науково обґрунтованим, а й суспільно важливим завданням, що відповідає актуальним потребам державної транспортної політики, стратегічного планування та кризового управління у сфері інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у формування наукових основ моделювання та управління розвитком транспортної інфраструктури в умовах кризових і надзвичайних ситуацій зроблено як українськими, так і зарубіжними дослідниками. Зокрема, у роботах О.І. Дмитрієвої [2] обґрунтовано підходи до державного регулювання інноваційного розвитку транспортної інфраструктури з акцентом на роль цифрових технологій та адаптивних управлінських механізмів.

Вітчизняна науковиця В.В. Дикань [1] акцентувала увагу на концепції транспортної стійкості як базової передумови забезпечення ефективності логістики в умовах зовнішніх викликів і ресурсних обмежень.

Інструменти системного аналізу та імітаційного моделювання в управлінні критичними інфраструктурами досліджуються у працях Ю.О. Крихтіної [3], де окремо підкреслено роль сценарного підходу та багатофакторного прогнозування в підвищенні адаптивності транспортних систем.

У контексті дослідження цифрових аспектів управління транспортною інфраструктурою важливими є напрацювання А.В. Рибчука та Р.І. Пазюка [5], які визначають геоінформаційні системи як ключовий

інструмент забезпечення прозорості й оперативності логістичних процесів. Суттєвий внесок у розроблення науково-методичних засад управління транспортною системою зроблено колективом авторів під керівництвом Г.В. Обруч [4], де проаналізовано комплексні фактори стійкості автотранспортної мережі в кризових умовах.

Водночас, незважаючи на наявні дослідження, недостатньо висвітленими залишаються питання інтеграції методів імітаційного прогнозування, системної динаміки та сценарного аналізу для формування моделей розвитку автотранспортної системи саме в умовах воєнної нестабільності. Також потребує подальшого наукового обґрунтування визначення вагових коефіцієнтів складових інноваційного розвитку з урахуванням стохастичної природи зовнішніх загроз. Запропонована стаття присвячується розв'язанню зазначених проблем, зокрема розробленню динамічної моделі управління інноваційним розвитком автотранспортної системи України, що базується на поєднанні методів імітаційного моделювання, сценарного прогнозування і факторного аналізу параметрів стійкості.

Метою статті є наукове обґрунтування, розроблення та апробація динамічної моделі управління інноваційним розвитком автотранспортної системи України в умовах воєнної нестабільності, що базується на інтеграції методів імітаційного прогнозування, системної динаміки та сценарного аналізу. У межах цієї мети передбачено здійснення комплексного дослідження взаємозв'язків між зовнішніми загрозами, управлінськими індикаторами та прогнозованими результатами розвитку транспортної інфраструктури, а також формалізацію ключових параметрів і механізмів адаптивного реагування.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) нормативно-правові акти України та міжнародні документи, що регулюють діяльність автотранспортної системи в умовах надзвичайних ситуацій, зокрема

Закони України «Про транспорт», «Про правовий режим воєнного стану», стратегічні документи Міністерства інфраструктури України та Європейського банку реконструкції і розвитку щодо відновлення транспортної галузі; 2) наукові праці вітчизняних та зарубіжних авторів, які здійснюють дослідження у сфері інноваційного розвитку, системної динаміки, імітаційного прогнозування та управління критичною інфраструктурою в кризових умовах.

У процесі здійснення дослідження було використано такі наукові методи: теоретичного узагальнення та групування (для характеристики складових інноваційного розвитку автотранспортної системи та визначення їх взаємозв'язків в умовах воєнної нестабільності); методи системного аналізу, формалізації та сценарного прогнозування (для побудови логіко-структурної моделі управління інноваційним розвитком та динамічної матриці впливу зовнішніх факторів на управлінські індикатори); імітаційного моделювання (для апробації альтернативних сценаріїв розвитку автотранспортної системи та оцінки інтегрального показника інноваційної стійкості); а також методи порівняльного і факторного аналізу (для інтерпретації результатів моделювання, оцінювання сценарних ефектів і формулювання висновків щодо пріоритетів управлінського впливу).

Виклад основного матеріалу. Функціонування автотранспортної системи України в умовах воєнного часу характеризується зростаючим рівнем дестабілізації, що проявляється у багатофакторному впливі кризових явищ на інституційні, ресурсні та технологічні складові галузі. Ключовими зовнішніми загрозами, які детермінують сучасний стан автотранспортної інфраструктури, є руйнування об'єктів транспортної мережі, хронічний дефіцит матеріально-технічних ресурсів, істотні коливання структури попиту на транспортні послуги, а також обмеження мобільності, що виникають унаслідок прямого впливу бойових дій.

Руйнування інфраструктури, зокрема автомобільних доріг, мостів, логістичних вузлів і транспортних терміналів, є одним із найбільш небезпечних чинників, що призводить до фізичної втрати спроможності здійснювати перевезення та ускладнює відновлення логістичних маршрутів. За даними Світового банку, унаслідок воєнних дій в Україні у 2022–2023 рр. пошкоджено або знищено понад 25 тис. км доріг та кілька сотень мостів, що безпосередньо вплинуло на рівень мобільності регіонів [7].

Дефіцит ресурсів, зокрема нестача пального, запчастин і кваліфікованого персоналу, ускладнює як виконання поточних перевезень, так і організацію відновлювальних робіт. Значна частина автопарку втрачена або переміщена у зони активних бойових дій, що спричинило дисбаланс у розподілі транспортних засобів.

Зміни структури попиту проявляються у зростанні обсягів гуманітарних, евакуаційних і військових перевезень при одночасному зниженні попиту на комерційні логістичні послуги.

Це формує додаткове навантаження на наявні транспортні потужності та вимагає перегляду пріоритетів планування маршрутів і виділення ресурсів.

Обмеження мобільності виникають через руйнування дорожньої мережі, створення блокпостів, заборону руху у небезпечних зонах та мінування територій. Такі умови ускладнюють оперативне реагування на зміни потреб перевезень та створюють ризики втрати критичних логістичних ланцюгів.

**Класифікація основних загроз для автотранспортної системи України
в умовах воєнної нестабільності**

з/п	Загроза	Коротка характеристика
1	Руйнування інфраструктури	Пошкодження доріг, мостів, логістичних центрів, що призводить до втрати маршрутів та обмеження перевезень
2	Дефіцит ресурсів	Нестача пального, запчастин, кадрових ресурсів, що ускладнює виконання перевезень і ремонтні роботи
3	Зміни структури попиту	Зростання обсягів евакуаційних і гуманітарних перевезень при скороченні комерційних логістичних операцій
4	Обмеження мобільності	Блокпости, заборона руху, мінування територій, що знижують рівень доступності та збільшують ризики

Джерело: складено автором на основі [6]

Сукупність зазначених факторів суттєво знижує стійкість автотранспортної системи, обумовлюючи необхідність впровадження інноваційних механізмів управління.

У сучасних умовах воєнної нестабільності інноваційний розвиток автотранспортної системи повинен розглядатися як багатофакторний процес, що інтегрує різні сфери управлінського впливу та забезпечує адаптивність транспортної галузі до деструктивних зовнішніх впливів. Розроблення логіко-структурної моделі управління ґрунтується на концептуальному поєднанні чотирьох ключових складових: ресурсної забезпеченості, інституційної координації, цифровізації та гнучкості інфраструктури. Ресурсна забезпеченість є базовою передумовою життєздатності автотранспортної системи й охоплює наявність матеріально-технічної бази, пально-мастильних ресурсів та кадрового потенціалу. Дефіцит цих елементів безпосередньо обмежує здатність системи виконувати перевезення та реалізовувати відновлювальні заходи.

Інституційна координація визначає рівень узгодженості дій державних органів, військових адміністрацій, муніципалітетів і приватного

сектору. Її належне функціонування дає змогу забезпечувати ефективність управлінських рішень і оперативність реагування на зміну ситуації. Цифровізація виступає каталізатором інноваційного розвитку та створює інструментальну базу для моніторингу транспортних потоків, оптимізації маршрутів, прогнозування ризиків і автоматизації обліку ресурсів.

Гнучкість інфраструктури характеризує здатність транспортної мережі до перепрофілювання, використання альтернативних маршрутів і адаптації до втрати окремих об'єктів інфраструктури. Для оцінювання стану кожної зі складових моделі визначено систему індикаторів, що дозволяють кількісно вимірювати рівень розвитку й адаптивності транспортної системи.

Таблиця 2

Індикатори управління інноваційним розвитком автотранспортної системи України

з/п	Складова моделі	Управлінські індикатори	Характер впливу на систему	Джерела формування індикаторів
1	Ресурсна забезпеченість	Рівень забезпечення технікою, доступність пального, наявність кадрів	Прямий: визначає базову функціональність	Дані Мінінфраструктури, Держстату, звіти профільних асоціацій
2	Інституційна координація	Швидкість прийняття рішень, ефективність взаємодії органів влади	Системний: забезпечує узгодженість і стабільність	Нормативно-правові акти, звіти обласних ВА, аналітика КМУ
3	Цифровізація	Рівень впровадження ІТ-рішень, цифровий облік, логістичні платформи	Каталізатор: посилює адаптивність і прозорість	Дані Укравтодору, технічні звіти Світового банку, ЄБРР
4	Гнучкість інфраструктури	Частка відновлених об'єктів, наявність альтернативних маршрутів	Критичний: формує спроможність до адаптації	Аналітика дорожніх служб, Ситуаційний центр Міноборони

Взаємодія зазначених складових представлена у вигляді логіко-структурної моделі, що відображає їх ієрархію впливу та характер взаємозалежностей.



Рис. 1. Логіко-структурна модель управління інноваційним розвитком автотранспортної системи в умовах воєнної нестабільності

Джерело: розробка автора

Розроблена модель є основою для побудови динамічної матриці сценарного прогнозування розвитку автотранспортної системи та визначення пріоритетів управлінського впливу в умовах багатофакторних загроз.

У контексті воєнної нестабільності управління розвитком автотранспортної системи потребує формалізації взаємозв'язків між критичними загрозами, уразливими індикаторами її стану та прогнозованими ефектами.

Такий підхід дає змогу системно оцінювати ризики та обґрунтовувати управлінські рішення з урахуванням складної динаміки зовнішнього середовища.

На основі аналізу емпіричних даних, наукових джерел та експертних оцінок побудовано динамічну матрицю, у якій кожен зовнішній фактор корелює з певними індикаторами функціонування системи, визначаючи прогнозовані наслідки та потребу у відповідних управлінських діях.

Таблиця 3

**Матриця впливу зовнішніх факторів на управлінські рішення в
автотранспортній системі**

№ з/п	Зовнішній фактор	Уразливий індикатор	Прогнозований ефект	Необхідне управлінське реагування
1	Руйнування інфраструктури	Частка відроджених об'єктів, доступність маршрутів	Зниження перевізної спроможності, зростання часу доставки	Розробка альтернативних маршрутів, пріоритетне відродження ключових об'єктів
2	Дефіцит ресурсів	Рівень забезпечення технікою, пально-мастильними матеріалами	Падіння обсягів перевезень, зростання аварійності	Тимчасова мобілізація резервів, організація логістики постачання ресурсів
3	Зміни структури попиту	Обсяги пріоритетності перевезень та	Переорієнтація потужностей на гуманітарні й оборонні потреби	Перегляд планування маршрутів, адаптація графіків руху, оновлення пріоритетів
4	Обмеження мобільності	Доступність логістичних вузлів, оперативність переміщень	Локальна ізоляція регіонів, збільшення витрат часу і ресурсів	Використання цифрових карт ризику, перепрофілювання інфраструктури, координація з військовими структурами

Побудована матриця дозволяє визначати пріоритети реагування та встановлювати логічну послідовність дій з урахуванням характеру впливу кожного чинника. Особливість запропонованого підходу полягає у відображенні причинно-наслідкових зв'язків через проміжну ланку прогнозованих ефектів, що дає змогу моделювати сценарії розвитку та оцінювати їхню ймовірність.

Для візуалізації взаємозв'язків між загрозами, індикаторами та управлінськими рішеннями побудовано сценарне дерево адаптації, що відображає послідовність етапів реагування на критичні фактори середовища.

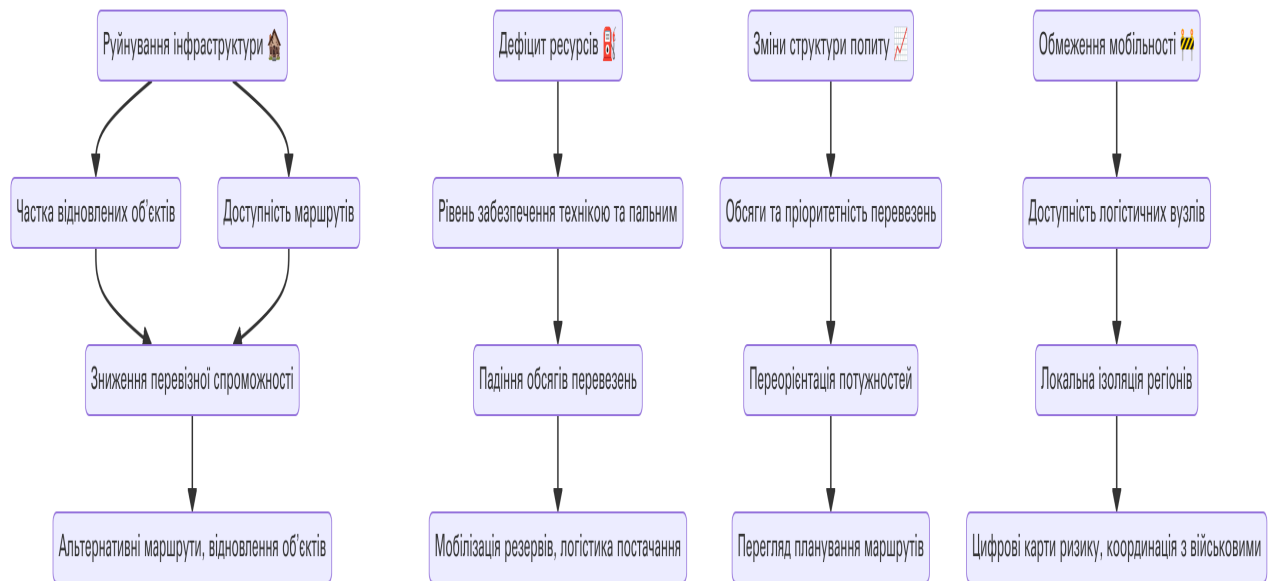


Рис. 2. Сценарне дерево адаптації автотранспортної системи України в умовах воєнної нестабільності

Джерело: розробка автора

Розроблене сценарне дерево дозволяє деталізувати варіанти управлінських дій залежно від домінуючих загроз та швидкості їхнього поширення у транспортному середовищі. Його практичне застосування полягає у формуванні адаптивних стратегій антикризового планування й оперативного управління логістичними процесами.

У межах дослідження розроблено три базові сценарії розвитку автотранспортної системи України в умовах воєнної нестабільності: інерційний, адаптивний та інноваційний. Інерційний сценарій передбачає мінімальні зміни у підходах до управління, що обумовлює низьку швидкість відновлення інфраструктури й недостатній рівень ресурсної забезпеченості. Адаптивний сценарій характеризується частковим впровадженням цифрових інструментів управління, підвищенням координації органів влади й мобілізацією резервів. Інноваційний сценарій ґрунтується на системному переході до цифровізації логістичних процесів, активному відновленні критичних об'єктів інфраструктури та впровадженні інституційних механізмів гнучкого управління.

Для оцінювання інтегральної ефективності кожного сценарію було розроблено модель, що базується на формалізації вагових коефіцієнтів складових інноваційного розвитку: ресурсної забезпеченості (w_1), інституційної координації (w_2), цифровізації (w_3) та гнучкості інфраструктури (w_4). Сума вагових коефіцієнтів дорівнює одиниці:

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1 \quad (1)$$

Інтегральний показник ефективності сценарію визначався за формулою:

$$I = \sum(w_i * X_i), \quad (2)$$

де X_i – нормалізоване значення i -го індикатора, що оцінює стан відповідної складової.

Згідно з результатами імітаційного моделювання, визначено прогностні значення інтегрального індексу інноваційної стійкості автотранспортної системи для кожного сценарію.

Таблиця 4

**Прогностні значення інтегрального показника інноваційної стійкості
автотранспортної системи**

Сценарій розвитку	Ресурсна забезпеченість (X_1)	Інституційна координація (X_2)	Цифровізація (X_3)	Гнучкість інфраструктури (X_4)	Інтегральний показник (I)
Інерційний	0,42	0,50	0,35	0,40	0,42
Адаптивний	0,55	0,68	0,60	0,58	0,60
Інноваційний	0,72	0,80	0,85	0,78	0,79

Формалізація вагових коефіцієнтів здійснювалася на основі експертного оцінювання, за яким найбільшу вагу було надано гнучкості інфраструктури ($w_4 = 0,30$) та цифровізації ($w_3 = 0,30$), оскільки ці складові визначають здатність системи оперативно адаптуватися до зовнішніх ризиків. Ваги ресурсної забезпеченості та інституційної координації становили відповідно $w_1 = 0,20$ і $w_2 = 0,20$.

Для наочного представлення результатів моделювання побудовано поверхню ефективності автотранспортної системи, що відображає інтегральний показник залежно від рівнів розвитку ключових складових.

На графіку представлено просторову візуалізацію інтегральної ефективності транспортної системи залежно від рівня цифровізації (вісь X) та гнучкості інфраструктури (вісь Y). Поверхня моделюється функцією синус-косинусного типу, що дозволяє відобразити хвилеподібну динаміку ефективності (вісь Z), яка змінюється при різних поєднаннях параметрів. Такий підхід демонструє нерівномірність впливу управлінських рішень на загальний стан системи, а також дозволяє виділити зони підвищеної адаптивності або ризиків.

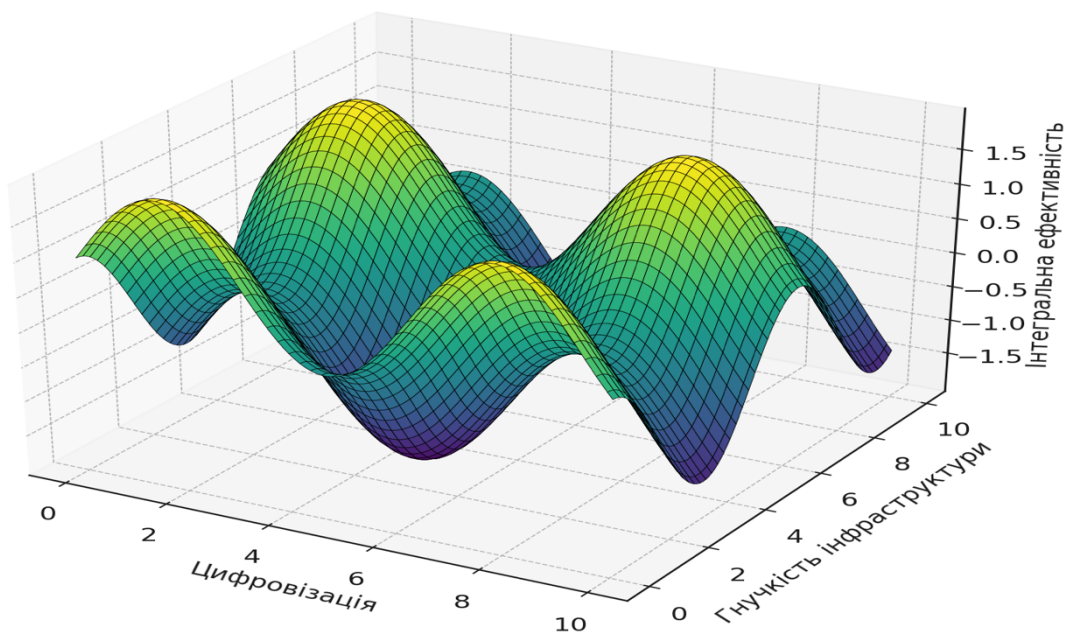


Рис. 3. Поверхня ефективності автотранспортної системи України у координатах ключових складових інноваційного розвитку

Аналіз отриманої моделі свідчить про нелінійний характер впливу цифровізації та гнучкості інфраструктури на інтегральну ефективність автотранспортної системи. Хвилеподібна структура графіка дозволяє виділити як зони стабільного зростання ефективності, так і області плато

або зниження, що відображають обмеження ефекту від певних управлінських дій.

Таким чином, досягнення максимальної інноваційної стійкості потребує скоординованого розвитку обох складових, з урахуванням їх взаємозалежності. Отримана поверхня може бути використана для моделювання сценаріїв, а також визначення критичних точок, у яких незначна зміна параметрів може мати суттєвий вплив на загальний результат. Результати моделювання можуть бути використані як основа для формування стратегічних і тактичних управлінських рішень щодо розвитку автотранспортної системи України в умовах воєнної нестабільності.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження було обґрунтовано методологічний підхід до імітаційного прогнозування сценаріїв розвитку автотранспортної системи України в умовах воєнної нестабільності. Встановлено, що найбільшу загрозу стабільному функціонуванню галузі становлять руйнування транспортної інфраструктури, дефіцит ресурсного забезпечення, обмеження мобільності та деструкція логістичних зв'язків.

Запропоновано логіко-структурну модель управління інноваційним розвитком автотранспортної системи, яка ґрунтується на чотирьох ключових складових: ресурсній забезпеченості, інституційній координації, цифровізації та гнучкості інфраструктури. Для кожної складової визначено релевантні індикатори оцінювання, що дозволило побудувати динамічну матрицю впливу зовнішніх факторів на управлінські рішення та сформувати сценарне дерево адаптації.

Імітаційне моделювання дало змогу кількісно оцінити інтегральний рівень ефективності транспортної системи в рамках трьох альтернативних сценаріїв: інерційного, адаптивного та інноваційного. Згідно з результатами аналізу, найвищу інноваційну стійкість демонструє

інноваційний сценарій, що передбачає комплексне впровадження цифрових технологій, гнучких інфраструктурних рішень та інституційного узгодження дій.

Практична значущість результатів полягає в можливості їх використання для стратегічного планування відновлення та модернізації транспортної системи в умовах воєнних загроз і посткризової трансформації.

Побудована модель може слугувати аналітичним інструментом для оцінювання варіантів розвитку та прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері транспортної безпеки.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням методів сценарного моделювання із залученням геоінформаційних систем, розробленням модулів інтеграції з системами логістичного моніторингу та адаптацією моделі до потреб регіональних транспортних кластерів України.

Література

1. Дикань В. В. Державне регулювання інвестиційного забезпечення розвитку міжнародних транспортних коридорів в Україні : автореф. дис. ...канд. екон. наук : 08.02.03. Харків, 2006. 23 с. URL: <https://uacademic.info/ua/document/0406U003771> (дата звернення: 10.07.2025).
2. Дмитрієва О. І. Державне регулювання інноваційного розвитку транспортної інфраструктури : дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.03. Харків, 2020. 460 с. URL: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/11/dmytriieva_dis.pdf (дата звернення: 10.07.2025).
3. Крихтіна Ю. О. Державна політика розвитку транспортної галузі України: теорія, методологія, практика : монографія. Харків: «Діса плюс», 2022. 336 с. URL:

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/15498/1/Krykhtina.pdf> (дата звернення: 10.07.2025).

4. Обруч Г. В. Формування концепції забезпечення збалансованого розвитку підприємств залізничного транспорту в умовах їх цифрової трансформації. *Бізнес Інформ*. 2020. № 3. С. 119-127. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2021_4_21 (дата звернення: 10.07.2025).

5. Рибчук А. В., Пазюк Р. І., Пантук Ю. М. Цифрова трансформація транспортних систем в інформаційній економіці. *Інвестиції: практика та досвід*. 2024. № 6. URL: <https://www.nauka.com.ua/index.php/investplan/article/view/3260> (дата звернення: 10.07.2025).

6. Січкаренко К.О. Вплив цифровізації економіки на розвиток транспортної галузі. *Причорноморські економічні студії*. 2019. Вип. 38/1. С. 76-79. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses_2019_38%281%29__17 (дата звернення: 10.07.2025).

7. Яновська В.П., Медина А.П. Особливості економічного розвитку транспортних компаній в умовах цифровізації. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія "Економіка і управління"*. 2023. Вип. 53. С. 40-48.

References

1. Dykan, V. V. (2006). Derzhavne rehuliuвання investytsiinoho zabezpechennia rozvytku mizhnarodnykh transportnykh korydoriv v Ukraini [State regulation of investment support for the development of international transport corridors in Ukraine]: avtoref. dys. ...kand. ekon. nauk: 08.02.03. Kharkiv. 23 s. URL: <https://uacademic.info/ua/document/0406U003771> [in Ukrainian].

2. Dmytriieva, O. I. (2020). Derzhavne rehuliuвання innovatsiinoho rozvytku transportnoi infrastruktury [State regulation of innovative development of transport infrastructure]: dys. ... d-ra ekon. nauk: 08.00.03. Kharkiv. 460 s.

URL: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/11/dmytriieva_dis.pdf [in Ukrainian].

3. Krykhtina, Yu. O. (2022). Derzhavna polityka rozvytku transportnoi haluzi Ukrainy: teoriia, metodolohiia, praktyka [State policy of development of the transport sector of Ukraine: theory, methodology, practice]: monohrafiia. Kharkiv: «Disa plus». 336 s. URL: <http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/15498/1/Krykhtina.pdf> [in Ukrainian].

4. Obruch, H. V. (2020). Formuvannia kontseptsii zabezpechennia zbalansovanoho rozvytku pidpriemstv zaliznychnoho transportu v umovakh yikh tsyfrovoy transformatsii [Formation of the concept of ensuring balanced development of railway transport enterprises in the conditions of their digital transformation]. *Biznes Inform*, № 3. S. 119-127. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2021_4_21 [in Ukrainian].

5. Rybchuk, A. V., Paziuk, R. I., Pantiuk, Yu. M. (2024). Tsyfrova transformatsiia transportnykh system v informatsiinii ekonomitsi [Digital transformation of transport systems in the information economy]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*. № 6. URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/3260> [in Ukrainian].

6. Sichkarenko, K.O. (2019). Vplyv tsyfrovizatsii ekonomiky na rozvytok transportnoi haluzi [The impact of digitalization of the economy on the development of the transport industry]. *Prychornomorski ekonomichni studii*. Vypusk 38/1. S. 76-79. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses_2019_38%281%29__17 [in Ukrainian].

7. Ianovska, V.P., Medyna, A.P. (2023). Osoblyvosti ekonomichnoho rozvytku transportnykh kompanii v umovakh tsyfrovizatsii [The impact of digitalization of the economy on the development of the transport industry].

Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Seriiia "Ekonomika i upravlinnia". Vyp. 53. S. 40-48 [in Ukrainian].