



А. М. Тригуба¹, Р. Я. Шолудько², О. Я. Андрушків², Р. І. Олійник², М. П. Коциловський¹

¹Львівський національний університет природокористування, Львів, Україна

²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8014-5661> – А. М. Тригуба

<https://orcid.org/0009-0000-6149-7354> – Р. Я. Шолудько

<https://orcid.org/0009-0007-1672-7633> – О. Я. Андрушків

<https://orcid.org/0009-0009-9846-6303> – Р. І. Олійник

<https://orcid.org/0009-0005-2958-637X> – М. П. Коциловський



trianamik@gmail.com

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ІНФРАСТРУКТУРНИМИ ПРОЄКТАМИ РОЗВИТКУ ГРОМАД В УМОВАХ БАГАТОРІВНЕВИХ РИЗИКІВ

Проблема. Обґрунтовано актуальність управління проектами розвитку інфраструктури громад в умовах багаторівневих ризиків. Розглянуто три види інфраструктурних проєктів (безпекові, медичні та енергетичні). На основі аналізу сучасних підходів у науці та практиці встановлено, що існуючі управлінські моделі переважно мають вузьку спрямованість, не враховують динамічне проєктне середовище, що зумовлює багаторівневі ризики та не забезпечують адаптивності до проєктного середовища, потреби до швидкої зміни у проєктах. Враховуючи важливу роль своєчасного реагування та ефективного використання обмежених ресурсів, управління інфраструктурними проектами розвитку громад потребує мультисекторального підходу. Він інтегрує інтелектуальні методи, прогнозування ризиків і визначення пріоритетних сценаріїв реалізації проєктів. В умовах динамічного проєктного середовища особливо важливим є формування ціннісно орієнтованих рішень, які базуються на використанні обчислювального інтелекту та багатокритеріальної оптимізації для забезпечення стійкого розвитку громад.

Мета. Обґрунтувати підхід та розробити інтелектуальну мультисекторальну модель управління проектами розвитку безпекової, медичної та енергетичної інфраструктур громад з урахуванням багаторівневих ризиків, що дозволяє підвищити ефективність управлінських рішень, забезпечити адаптивне планування ресурсів, інтегрувати сучасні технології штучного інтелекту в процес стратегічного розвитку територій, мінімізувати наслідки небажаних подій та покращити стійкість функціонування інфраструктурних систем у динамічному проєктному середовищі з обмеженим доступом до ресурсів.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети дослідження застосовано комплексний підхід, що передбачає поєднання сучасних методів аналізу, моделювання й оптимізації, а також використання інструментів штучного інтелекту й геоінформаційних технологій. Такий підхід дозволяє врахувати багатокomпонентну структуру інфраструктури громад і забезпечити міжсекторальну інтеграцію в одній моделі управління проектами розвитку безпеки, медицини та енергетики громад. Однією з основних методологічних основ є використання системного аналізу, що дає змогу виокремити взаємозв'язки між різними складовими проєктів розвитку інфраструктури, оцінити їхню чутливість до зовнішніх і внутрішніх ризиків, а також встановити пріоритетність управлінських впливів. Цей підхід забезпечує цілісне бачення управлінських процесів, які відбуваються у громаді, та дозволяє виявити впливи, зосередивши увагу на важливих елементах.

Для побудови моделей взаємодії між секторами інфраструктури громад використано когнітивне моделювання, яке дає змогу візуалізувати причинно-наслідкові зв'язки, оцінювати динаміку змін у системі та прогнозувати можливі сценарії її розвитку. Пропонується використовувати методи обчислювального інтелекту, зокрема нейромережеве моделювання, нечітку логіку та алгоритми ситуаційного прийняття рішень. Ці інструменти використовуються для моделей адаптації проєктів до змін проєктного середовища, виявлення аномальних сценаріїв розвитку інфраструктури громад та формування рекомендацій щодо подальших управлінських дій в умовах невизначеності.

Основні результати дослідження. Розроблено концептуальну модель інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами (безпековий, медичний та енергетичний) на рівні громад. Запропонована модель включає п'ять взаємопов'язаних рівнів: 1) інформаційне середовище; 2) офіс управління проектами; 3) портфель інфраструктурних проєктів (безпекові, медичні та енергетичні) на рівні громад; 4) результативну частину (продукти інфраструктурних проєктів); 5) формування цінності. Модель є

мультисекторальною, оскільки охоплює безпекову, медичну та енергетичну складові інфраструктури громад у єдиному стратегічному просторі. До складу моделі інтегровано підсистему мультисекторального управління ризиками, що базується на побудові матриць ризику з урахуванням імовірності загроз та тяжкості їх наслідків, а також підсистему прийняття управлінських рішень, в якій використано функцію визначення інтегральної цінності. Цінність інфраструктурних проєктів розраховується на основі п'яти ключових параметрів, які стосуються рівня ризиків, тривалості реалізації, забезпечення ресурсами, доступності медичних послуг і енергетичної автономності. Також враховано специфічні пріоритети для п'яти груп стейкхолдерів – населення громади, держави, адміністрацій громади, фахівців та проєктних менеджерів, що забезпечує обґрунтоване ранжування проєктів.

Висновки та конкретні пропозиції автора. На основі запропонованої концептуальної моделі створено комп'ютерну реалізацію, що дозволяє здійснювати сценарне моделювання з використанням інструментів Python. Проведене апробування моделі на прикладі умовної громади. Це дало можливість оцінити інтегральну цінність проєктів кожного виду за трьох сценаріїв їх реалізації. У базовому сценарії проєкт розвитку медицини має інтегральну цінність 0,585, енергетики – 0,570, а безпеки – 0,609. За використання оптимістичного сценарію найвищу цінність має проєкт розвитку безпеки – 0,828, у той час як медицини і енергетики – відповідно 0,798 і 0,778. Песимістичний сценарій показує зниження показників цінності до рівня 0,419 для проєкту розвитку безпеки, 0,409 для проєкту розвитку медицини та 0,393 для проєкту розвитку енергетики. Це підтверджує доцільність впровадження динамічних моделей управління інфраструктурними проєктами розвитку громад, чутливих до змін проєктного середовища. Запропонована модель дозволяє враховувати динамічні зміни у проєктному середовищі, обґрунтовувати вибір пріоритетних проєктів та адаптувати портфель інфраструктурного розвитку відповідно до ресурсних і ризикових обмежень. Доцільним є подальше застосування моделі для оцінювання інфраструктурних проєктів у реальних громадах із урахуванням їх просторових, демографічних та безпекових характеристик проєктного середовища.

Ключові слова: управління, проєкт, інфраструктура, громади, інтелектуальні моделі, цінність, моделювання, багаторівневі ризики, мультисекторальний підхід, ефективність.

A. M. Tryhuba¹, R. Ya. Sholudko², O. Ya. Andrushkiv², R. I. Oliinyk², M. P. Kotsylovskiy¹

¹Lviv National Environmental University, Lviv, Ukraine

²Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

INTELLIGENT MODELS FOR MANAGING COMMUNITY INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT PROJECTS UNDER MULTILEVEL RISKS

Introduction. The article substantiates the relevance of managing community infrastructure development projects in the context of multilevel risks. Three types of infrastructure projects (security, medical, and energy) are considered. Based on the analysis of modern approaches in science and practice, it is established that existing management models are mostly narrowly focused, do not take into account the dynamic project environment, which causes multi-level risks, and do not provide adaptability to the project environment, the need for rapid changes in projects. Given the important role of timely response and efficient use of limited resources, the management of community development infrastructure projects requires a multisectoral approach. It integrates intelligent methods, risk forecasting, and prioritization of project implementation scenarios. In a dynamic project environment, it is especially important to develop value-based solutions based on the use of computational intelligence and multi-criteria optimization to ensure sustainable community development.

Purpose. To substantiate the approach and develop an intelligent multisectoral model of project management for the development of security, medical and energy infrastructures of communities, taking into account multilevel risks, which allows to increase the efficiency of management decisions, ensure adaptive resource planning, integrate modern artificial intelligence technologies into the process of strategic development of territories, minimize the consequences of undesirable events and improve the sustainability of infrastructure systems in a dynamic project environment with limited.

Methods. To achieve the stated research objective, a comprehensive approach was applied, combining modern methods of analysis, modeling, and optimization, along with the use of artificial intelligence tools and geoinformation technologies. This approach enables the consideration of the multicomponent structure of community infrastructure and ensures cross-sectoral integration within a single project management model focused on security, healthcare, and energy development in local communities. One of the key methodological foundations is the use of systems analysis, which allows for identifying interconnections among various components of infrastructure development projects, assessing their sensitivity to external and internal risks, and determining the priority of management interventions. This approach provides a holistic view of governance processes within a community and enables the identification of critical influences by focusing attention on the most significant elements. To construct models of interaction between infrastructure sectors, cognitive modeling was applied. This method makes it possible to visualize cause-and-effect relationships, evaluate system dynamics, and forecast potential development scenarios. The research also proposes the use of computational intelligence methods, including neural network modeling, fuzzy logic, and situational decision-making algorithms. These tools are employed to develop models that adapt projects to changes in the project environment, detect anomalous infrastructure development scenarios, and generate recommendations for future management actions under conditions of uncertainty.

Results. A conceptual model of intelligent multisectoral management of infrastructure projects (focused on security, healthcare, and energy) at the community level has been developed. The proposed model consists of five interrelated levels: 1) the information environment; 2) the project management office (PMO); 3) the portfolio of infrastructure projects (security, medical, and energy) at the community level; 4) the performance/output layer (infrastructure project deliverables); 5) value creation. The model is multisectoral, as it integrates the security, healthcare, and energy components of community infrastructure within a unified strategic space. It incorporates a multisectoral risk management subsystem, which is based on constructing risk matrices that take into account both the likelihood of threats and the severity of their consequences. Additionally, it includes a decision-making subsystem, which applies a function for determining the integral project value.

The value of infrastructure projects is calculated based on five key parameters: risk level, implementation duration, resource availability, accessibility of medical services, and energy autonomy. The model also considers the specific priorities of five stakeholder groups - community residents, the state, local administrations, specialists, and project managers - ensuring a well-grounded prioritization of projects.

Conclusions and specific proposals of the author. Based on the proposed conceptual model, a computer-based implementation was developed, enabling scenario modeling using Python tools. The model was tested on a hypothetical community, which allowed for the evaluation of the integral value of each type of project under three implementation scenarios. In the baseline scenario, the integral value of the healthcare development project was 0.585, the energy project — 0.570, and the security project — 0.609. Under the optimistic scenario, the highest value was observed for the security project (0.828), followed by the healthcare (0.798) and energy projects (0.778). The pessimistic scenario showed a decrease in project value indicators to 0.419 for security, 0.409 for healthcare, and 0.393 for energy. These results confirm the relevance of implementing dynamic models for managing community infrastructure development projects that are sensitive to changes in the project environment. The proposed model enables the consideration of dynamic shifts, supports the justification of priority project selection, and facilitates the adaptation of the infrastructure development portfolio in accordance with resource and risk constraints.

Further application of the model is advisable for evaluating infrastructure projects in real communities, taking into account the spatial, demographic, and security characteristics of the project environment.

Key words: management, project, infrastructure, communities, intelligent models, value, modeling, multilevel risks, multisectoral approach, efficiency.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток новостворених територіальних громад в Україні відбувається у складному соціально-економічному та безпековому середовищі [1-3]. При цьому особливо актуальними є науково-прикладні задачі щодо управління проектами сталого розвитку окремих складових інфраструктури громад. Безпекова, медична та енергетична інфраструктури є основними та відіграють важливу роль у забезпеченні життєдіяльності населення, реагуванні на надзвичайні ситуації, збереженні здоров'я населення та енергетичній стабільності громад [4-6]. На ефективність реалізації проектів розвитку інфраструктури громад впливає динамічне проектне середовище, яке зумовлює появу багаторівневих ризиків. Вони поєднують у собі військові загрози, природні катастрофи, техногенні інциденти та соціальні виклики [7-9]. Саме це зумовлює потребу у розробці принципово нових підходів до управління проектами розвитку таких систем на основі використання сучасних інформаційних технологій.

Отже, актуальною науково-прикладною задачею є розробка та використання інтелектуальних моделей управління проектами розвитку безпекової, медичної та енергетичної інфраструктури громад, які забезпечують адаптацію до умов багаторівневих ризиків та їх сталий розвиток. Для її розв'язання слід розробити гнучкий і ціннісно орієнтований підхід до планування, оцінки та реалізації проектних рішень із залученням сучасних

технологій обчислювального інтелекту. Вона є основою створення відповідних моделей та дає можливість не лише враховувати складну динаміку зовнішнього проектного середовища, а й проактивно реагувати на потенційні загрози, що забезпечує обґрунтування реакцій на багаторівневі ризики проектів розвитку безпекової, медичної та енергетичної інфраструктури громад.

Аналіз наукових досліджень галузі.

Упродовж останнього десятиліття спостерігається активізація наукових досліджень, спрямованих на вдосконалення підходів до управління проектами, які стосуються розвитку окремих інфраструктур територіальних громад [10-11]. Цей інтерес обумовлений як зростаючими потребами та викликами безпекового, соціального та техногенного характеру, так і необхідністю забезпечення стійкості громадських систем до нестабільності та багатofакторного ризику.

Значний науковий доробок сформувався у сфері управління проектами безпекової інфраструктури. Зокрема, в частині управління проектами розвитку об'єктів критичної інфраструктури [12; 13] та управління конфігурацією проектів із оптимізацією територіального розміщення рятувальних підрозділів [14]. У фаховій літературі [15; 16] запропоновано використання моделей просторового покриття та топологічного аналізу транспортних мереж з метою мінімізації часу прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до місця надзвичайної події. Такі дослідження часто

використовують інструментарій геоінформаційних систем та алгоритмічні підходи, зокрема р-центр або k-покриття. У той же час, актуальним залишається питання врахування динамічних змін проектного середовища, зокрема пошкодження інфраструктури під час воєнних дій чи природних катаклізмів, що не враховується існуючими моделями.

Щодо проектів розвитку медичної інфраструктури на рівні громад помітною є тенденція до використання інструментів оцінювання доступності медичних послуг, прогнозування регіональних потреб та оптимізації ресурсного забезпечення. У низці наукових праць [17-19] пропонуються моделі, які використовують статистичні методи, нейронні мережі та елементи нечіткої логіки для прийняття управлінських рішень щодо управління проектами розвитку закладів охорони здоров'я. Проте, попри високу ефективність зазначених підходів у теоретичних викладах, на практиці їх застосування ускладнюється через обмежений доступ до актуальних даних і відсутність інтегрованих систем моніторингу.

Щодо енергетичної інфраструктури, то дослідники дедалі частіше зосереджуються на питаннях автономного енергозабезпечення для соціально значущих об'єктів, житлових масивів та агропромислового комплексу. У наукових працях [20-22] їх автори акцентують увагу на важливості гібридних систем управління проектами енергозабезпечення об'єктів. Вони пропонують під час ініціації таких проектів передбачати поєднання традиційних джерел енергії з відновлюваними. Авторами цих праць обґрунтовано доцільність впровадження цифрових двійників для моделювання продуктів проектів та визначення показників споживання та генерування енергії в реальному часі. Однак, і в цьому напрямі простежується брак комплексного підходу, який би синхронізував енергетичні рішення з потребами управління проектами безпеки та охорони здоров'я.

Слід також відзначити, що попри значну кількість наукових праць у зазначених напрямках, спільна мультисекторна модель, яка системно охоплювала б проекти розвитку безпекової, медичної та енергетичної інфраструктур, відсутня і не представлена в існуючих дослідженнях. Більшість моделей мають вузькоспеціалізований характер, що не дозволяє ефективно враховувати міжгалузеву взаємодію в умовах багаторівневих загроз.

Таким чином, актуальним залишається формування інтегрованої наукової парадигми, яка поєднує здобутки в кожній з галузей та орієнтується на використання обчислювального інтелекту як інструмента системного управління

проектами розвитку громад. Запропонований у цій роботі підхід є спробою заповнити наявну наукову прогалину та створити основу для розбудови комплексних моделей, що відповідатимуть викликам сьогодення.

Не вирішені раніше частини загальної проблеми. Незважаючи на наявність багатьох наукових праць, присвячених окремим напрямкам управління інфраструктурними проектами, існує маса невирішених науково-прикладних задач. Вони залишаються або недостатньо дослідженими, або фрагментарно охопленими у підходах до управління проектами розвитку окремих видів інфраструктур. Умовно їх можна згрупувати в декілька базових напрямів, що потребують подальшого теоретичного обґрунтування та розробки інструментарію для управління проектами.

Ще одним невирішеним завданням залишається недостатня адаптивність існуючих управлінських моделей до реального проектного середовища, яке характеризується взаємодією одночасно кількох типів ризиків – воєнні, природні, техногенні та соціальні. У сценаріях реалізації проектів, коли протягом короткого періоду їх життєвого циклу змінюються доступні ресурси, порушується логістика або зростає навантаження на інфраструктуру, більшість стандартних алгоритмів не здатні реагувати з бажаною гнучкістю. Це ускладнює планування проектів розвитку безпекової, медичної та енергетичної інфраструктури громад та знижує їх результативність, особливо в умовах непередбачуваних подій.

Спостерігається недостатнє впровадження інструментів обчислювального інтелекту у сферу проектного управління на рівні громад. Попри загальновизнаний потенціал когнітивних моделей, нейронних мереж, цифрових двійників та інших інтелектуальних систем, їх практичне застосування під час управління інфраструктурними проектами досі залишається поодиноким. У результаті громади та проектні менеджери часто змушені ухвалювати управлінські рішення, спираючись на неповні або застарілі дані, без використання ефективних інструментів аналізу й прогнозування складових зазначених проектів.

Не менш актуальною є науково-прикладна задача створення моделей, здатних до швидкої реконфігурації у відповідь на зміни у зовнішньому проектному середовищі. Інакше кажучи, сучасні моделі переважно залишаються статичними. При цьому навіть незначна зміна вхідних параметрів може вимагати перебудови всієї моделі, що суттєво знижує її практичну цінність у кризових ситуаціях.

В цілому можна зазначити, що важливою потребою є створення універсального інструменту. Він повинен бути гнучким, адаптивним, ціннісно

орієнтованим, щоб забезпечував поєднання досягнень проектного менеджменту, інформаційних технологій та різних наукових напрямів, а також враховував наявні багаторівневі ризики. Саме у цій роботі здійснюється обґрунтування концепції інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами на рівні громад.

Мета досліджень. Обґрунтувати підхід та розробити інтелектуальну мультисекторальну модель управління проектами розвитку безпечної, медичної та енергетичної інфраструктур громад з урахуванням багаторівневих ризиків, що дозволяє підвищити ефективність управлінських рішень, забезпечити адаптивне планування ресурсів, інтегрувати сучасні технології штучного інтелекту в процес стратегічного розвитку територій, мінімізувати наслідки небажаних подій та покращити стійкість функціонування інфраструктурних систем у динамічному проектному середовищі з обмеженим доступом до ресурсів.

Основні методи дослідження. Для досягнення поставленої мети дослідження застосовано комплексний підхід, що передбачає поєднання сучасних методів аналізу, моделювання й оптимізації, а також використання інструментів штучного інтелекту й геоінформаційних технологій. Такий підхід дозволяє врахувати багатокомпонентну структуру інфраструктури громад і забезпечити міжсекторальну інтеграцію у одній моделі управління проектами розвитку безпеки, медицини та енергетики громад.

Однією з основних методологічних основ є використання системного аналізу, що дає змогу виокремити взаємозв'язки між різними складовими проектів розвитку інфраструктури, оцінити їхню чутливість до зовнішніх і внутрішніх ризиків, а також встановити пріоритетність управлінських впливів. Цей підхід забезпечує цілісне бачення управлінських процесів, які відбуваються у громаді, та дозволяє виявити впливи, зосередивши увагу на важливих елементах.

Для побудови моделей взаємодії між секторами інфраструктури громад використано когнітивне моделювання, яке дає змогу візуалізувати причинно-наслідкові зв'язки, оцінювати динаміку змін у системі та прогнозувати можливі сценарії її розвитку. Створення когнітивної карти дозволяє формалізувати знання експертів, а також виявити потенційно нестійкі складові проектного середовища, що потребують управлінського впливу в умовах обмежених ресурсів.

Під час обґрунтування управлінських рішень використовуються методи багатокритеріального аналізу (зокрема, аналіз ієрархій, вагові коефіцієнти та нормалізовані оцінки), які дають змогу порівняти

альтернативні сценарії розвитку інфраструктурних проектів громад з урахуванням як кількісних, так і якісних показників. Особливу увагу приділено таким критеріям, як доступність, стійкість, вартість, тривалість реалізації, рівень охоплення населення та потенційний вплив на безпеку.

Пропонується використовувати методи обчислювального інтелекту, зокрема нейромережеве моделювання, нечітку логіку та алгоритми ситуаційного прийняття рішень. Ці інструменти використовуються для моделей адаптації проектів до змін проектного середовища, виявлення аномальних сценаріїв розвитку інфраструктури громад та формування рекомендацій щодо подальших управлінських дій в умовах невизначеності.

Поєднання вказаних методів дало змогу не лише описати наявний стан системи, а й запропонувати засоби її вдосконалення, орієнтовані на підвищення стійкості громад до багаторівневих ризиків. Водночас міждисциплінарний характер дослідження дозволяє інтегрувати знання з галузей проектного менеджменту, інформаційних технологій, соціології, енергетики та охорони здоров'я у рамках єдиної дослідницької парадигми.

Основна частина. Розробка ефективної системи управління проектами розвитку безпечної, медичної та енергетичної інфраструктур громад потребує формалізації складних взаємозв'язків між ризиками, ресурсами, соціальними потребами та технічними характеристиками об'єктів. Ми пропонуємо концептуальну модель, яка об'єднує три види проектів розвитку безпечної, медичної та енергетичної інфраструктур громад, управління якими базується на інструментах обчислювального інтелекту, просторового аналізу та багатокритеріального оцінювання. Основою моделі є те, що ефективність реалізації проектів розвитку безпечної, медичної та енергетичної інфраструктур громад визначається інтегральною цінністю V , яка залежить від низки взаємозв'язаних чинників проектного середовища. Вони описуються моделлю:

$$V = f(R, T, C, H, E), \quad (1)$$

де V – інтегральна цінність проектів розвитку безпечної, медичної та енергетичної інфраструктур громад; R – рівень ризиків проектів розвитку безпечної, медичної та енергетичної інфраструктур громад; T – середній час реагування на зміни у проектному середовищі; C – ресурсна забезпеченість (зокрема матеріальні, людські й фінансові ресурси) проектів розвитку безпечної, медичної та енергетичної інфраструктур громад; H – доступність і якість медичних послуг у громаді; E – рівень енергетичної автономності відповідних об'єктів критичної інфраструктури на території громади.

Усі змінні моделі (1) представляють у нормованому вигляді (в інтервалі від 0 до 1), що дозволяє враховувати їх у єдиному формалізованому просторі:

$$V = w_1 \cdot (1 - R^*) + w_2 \cdot (1 - T^*) + w_3 \cdot C^* + w_4 \cdot H^* + w_5 \cdot E^*, \quad (2)$$

де R^*, T^*, C^*, H^*, E^* – відповідно нормовані значення показників моделі (1); w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 –

вагові коефіцієнти, що встановлюються експертним методом залежно від стратегічних пріоритетів громади.

Схему концептуальної моделі інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами (безпековий, медичний та енергетичний) на рівні громад представлено на рис. 1.

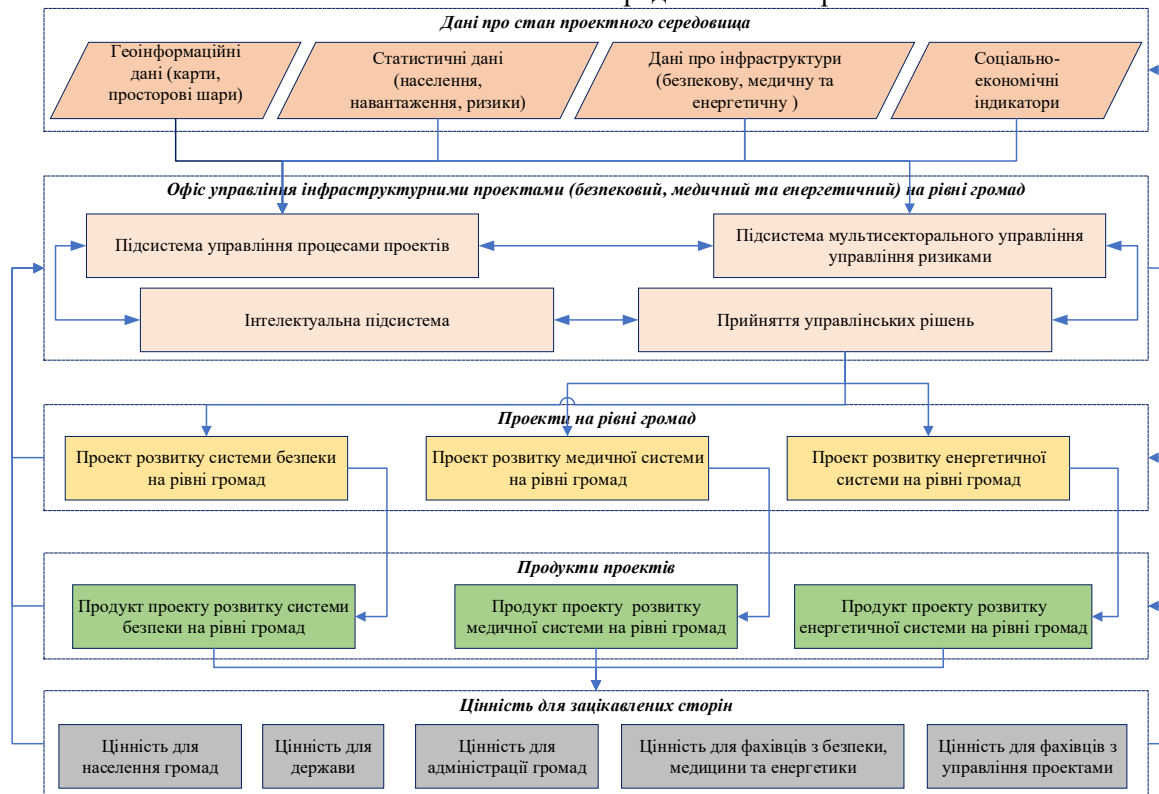


Рисунок 1 – Концептуальна модель інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами (безпековий, медичний та енергетичний) на рівні громад

Запропонована модель є ієрархічною, логічно структурованою та охоплює повний цикл управління інфраструктурними проектами на рівні громади – від збору початкових даних про стан динамічного проектного середовища до формування цінності для зацікавлених сторін. Її архітектура включає п'ять взаємопов'язаних рівнів: 1) інформаційне середовище; 2) офіс управління проектами; 3) портфель інфраструктурних проектів (безпекові, медичні та енергетичні) на рівні громад; 4) результативну частину (продукти інфраструктурних проектів); 5) формування цінності. Модель є мультисекторальною, оскільки охоплює безпекову, медичну та енергетичну складові інфраструктури громад у єдиному стратегічному просторі.

Рівень 1. Дані про стан проектного середовища. Основою є моделі інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами на рівні громад багатоплановий масив даних. Він формується з геоінформаційних, статистичних, інфраструктурних та соціально-

економічних джерел отримання даних. Просторові шари (карти, дорожня мережа, розташування об'єктів) інтегруються з демографічними показниками, індикаторами ризиків та навантаженнями на об'єкти критичної інфраструктури. Загальний набір вхідних даних можна представити у вигляді множини:

$$D = \{G, S, I, E\}, \quad (3)$$

де G – геоінформаційні дані; S – статистичні дані про населення і його характеристики; I – дані про безпекову, медичну та енергетичну інфраструктуру; E – економіко-соціальні індикатори, які зумовлюються зовнішньою складовою проектного середовища.

Усі дані, представлені у формулі (3), є динамічними й можуть змінюватися в часі, тому модель передбачає їх регулярне оновлення за принципом ситуаційної чутливості:

$$\frac{dD}{dt} \neq 0. \quad (4)$$

Рівень 2. Офіс управління інфраструктурними проектами. Центральним механізмом координації інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами на рівні громад є офіс управління проектами (РМО), який функціонує на основі чотирьох взаємопов'язаних підсистем – управління процесами проектів, мультисекторального управління ризиками, інтелектуальна та прийняття управлінських рішень. Підсистема управління процесами проектів відповідає за реалізацію фаз проектного циклу (ініціація, планування, виконання, моніторинг і завершення). Підсистема мультисекторального управління ризиками забезпечує аналіз і прогнозування багаторівневих ризиків, вплив яких оцінюється за матрицею:

$$R = \{r_{i,j}\}, \quad i \in \text{об'єкти}, \quad j \in \text{види ризиків}, \quad (5)$$

де $r_{i,j}$ – імовірність і наслідок j -го виду ризику i -го об'єкта.

Інтелектуальна підсистема реалізована на основі когнітивного моделювання, нейромережових алгоритмів та нечіткої логіки. Вона дозволяє адаптувати сценарії реалізації проектів до змін проектного середовища:

$$A_t = f(D_t, R_t, C_t), \quad (6)$$

де A_t – набір управлінських дій у момент часу t ; D_t – набір вхідних даних про стан проектного середовища у момент часу t ; R_t – ризики у момент часу t ; C_t – наявні ресурси для реалізації проектів у момент часу t .

Підсистема прийняття управлінських рішень інтегрує отримані знання та обґрунтовує вибір пріоритетних сценаріїв та проектів за критерієм цінності:

$$V_k = f(R_k, T_k, C_k, H_k, E_k), \quad (7)$$

де V_k – цінність k -го інфраструктурного проекту на рівні громад; R_k – рівень ризиків k -го інфраструктурного проекту на рівні громад; T_k – час реалізації k -го інфраструктурного проекту на рівні громад; C_k – ресурсне забезпечення k -го інфраструктурного проекту на рівні громад; H_k – доступність медичних послуг для населення громад за реалізації k -го інфраструктурного проекту; E_k – енергетична автономність за реалізації k -го інфраструктурного проекту.

Рівень 3. Проекти на рівні громад. На основі оцінених потреб і ризиків виконуються три види проектів, а саме проект розвитку системи безпеки, проект розвитку медичної системи та проект розвитку енергетичної системи. Кожен проект має власний бюджет, часові межі та перелік

очікуваних результатів (продукти). Вони реалізуються за адаптивною схемою, що дозволяє змінювати виконання інфраструктурних проектів на рівні громад відповідно до змін у проектному середовищі:

$$P_i(t) = P_i(t_0) + \int_{t_0}^t \Delta A_i(t) dt, \quad (8)$$

де $P_i(t)$ – стан реалізації i -го проекту у момент часу t ; $\Delta A_i(t)$ – зміна управлінських дій щодо реалізації i -го проекту у момент часу t ;

Рівень 4. Продукти проектів. На цьому рівні відбувається перехід від проектної до операційної діяльності. Створені інфраструктурні об'єкти, до яких належать безпекові формування, медичні центри, енергетичні установки, стають основою для щоденної взаємодії громади з системами життєзабезпечення. Продукти кожного проекту мають бути верифіковані за показниками ефективності та відповідності потребам населення. Кількісні характеристики ефективності можна подати як:

$$E_{prod} = \frac{Q_{out}}{Q_{req}}, \quad (9)$$

де Q_{out} – фактично надані послуги у окремих інфраструктурних об'єктах для населення громад; Q_{req} – обсяг потреб населення громади у послугах.

Рівень 5. Цінність для зацікавлених сторін. Останнім рівнем моделі інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами (на рівні громад є формування їх цінності. Цінність розглядається диференційовано, тобто окремо для кожної групи стейкхолдерів: 1) для населення – це підвищення безпеки, доступність медичних послуг, стабільність енергозабезпечення; 2) для держави – зміцнення критичної інфраструктури, посилення регіональної стійкості; 3) для адміністрації громад – зниження витрат бюджету на послуги, підвищення довіри населення, ефективність управління; 4) для фахівців – створення умов для професійної реалізації, доступ до сучасних технологій; 5) для проектних менеджерів – знання щодо обґрунтування пріоритетних сценаріїв та проектів, використання інструментів обчислювального інтелекту.

Загальна цінність Z визначається як агрегатна функція для всіх зацікавлених сторін інфраструктурних проектів (безпековий, медичний та енергетичний) на рівні громад:

$$Z = \sum_{m=1}^n w_m \cdot V_m, \quad (10)$$

де V_g – індивідуальна оцінка цінності для m -х груп зацікавлених сторін; w_m – ваговий коефіцієнт важливості цінності для m -х груп зацікавлених сторін.

Для ефективного функціонування офісу управління інфраструктурними проектами на рівні громад пропонується його підсилити інтелектуальною підсистемою, яка потребує використання низки інтелектуальних моделей, які представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Інтелектуальні моделі управління проектами розвитку критичної інфраструктури в умовах багаторівневих ризиків

№	Назва моделі	Призначення	Застосування	Основні методи
1	Когнітивна модель оцінення взаємозв'язків між складовими інфраструктури громади	Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між подіями у безпековій, медичній та енергетичній системах	Стратегічне планування на рівні громади	Когнітивне моделювання, графові структури
2	Нечітка модель оцінки рівня готовності інфраструктури	Оцінка стану інфраструктури з урахуванням невизначеності та неповноти даних	Ранжування територій за важливістю потреб	Fuzzy logic, нечіткі множини
3	Нейромережева модель прогнозування навантаження на систему	Прогноз попиту на медичні, енергетичні або безпекові послуги в умовах динамічного проектного середовища	Моделювання сценаріїв розвитку громад	Штучні нейронні мережі
4	Модель багатокритеріального вибору сценаріїв або проектів	Визначення оптимальних сценаріїв або проектів для реалізації за обмежених ресурсів	Пріоритети проектів у портфелі громади	Аналіз ієрархій, TOPSIS
5	Ситуаційно-адаптивна модель реагування на ризики	Автоматичний вибір дій залежно від поточної ситуації в проектному середовищі	Підтримка прийняття рішень у режимі реального часу	Байєсівські мережі, продуктивні правила
6	Інтегрована модель оцінки цінності проекту	Комплексна оцінка проекту	Оцінка доцільності проекту	Агрегування нормованих показників цінності

Інтелектуальна підсистема, як основна складова мультисекторального управління інфраструктурними проектами, потребує використання гнучких і надійних моделей, здатних до адаптації в умовах динамічних змін у проектному середовищі. Залежно від управлінських задач, що виникають у різних етапах життєвого циклу реалізації проектів, використовуються спеціалізовані моделі. На етапі стратегічного аналізу доцільно застосовувати когнітивні моделі, які дозволяють будувати графи взаємозалежностей між складовими інфраструктури громад. Наприклад, вплив перебоїв в енергозабезпеченні на роботу медичних закладів та ефективність реагування рятувальних служб можна простежити завдяки наочно представленим причинно-наслідковим ланцюгам. Ці моделі дозволяють виявити вузлові точки, зміною яких можна отримати максимальний ефект за мінімальних витрат ресурсів.

У випадках, коли наявні неповні або суперечливі дані про стан проектного середовища, слід застосовувати нечітку модель оцінки інфраструктури громад. Вона дозволяє описати об'єкти в категоріях «незадовільний», «середній», «підвищений» рівень готовності до функціонування, що особливо актуально для швидкого аналізу територій громад після надзвичайних подій чи у післявоєнний період. Нейромережеві моделі, зокрема рекурентні нейромережі (RNN, LSTM), дозволяють прогнозувати зміну навантаження на об'єкти у медичній або енергетичній системі. Ці моделі базуються на часових рядах і враховують коливання споживання, динаміку переміщення населення або частоту надзвичайних подій.

Для обґрунтування вибору проектів розвитку критичної інфраструктури в умовах багаторівневих ризиків та обмеженого бюджету особливо корисною є модель багатокритеріального вибору. Вона дозволяє порівняти альтернативні сценарії за множиною показників (вартістю,

термінами, ефектом, критичністю тощо) та виконати їх ранжування з урахуванням вагових коефіцієнтів. Такі моделі застосовуються у портфельному управлінні проектами на стадії їх планування.

Ситуаційно-адаптивна модель передбачає автоматичне формування управлінських дій на основі врахування наявного стану проектів розвитку критичної інфраструктури. Вона використовує продукційні правила або ймовірнісні схеми (Байєсівські мережі), що дозволяють в режимі реального часу адаптувати рішення до існуючого стану проектного середовища.

Заслугує на увагу інтегрована модель оцінки цінності проекту розвитку критичної інфраструктури громади, яка реалізує формулу (1) та поєднує результати всіх попередніх моделей. Вона дозволяє кількісно оцінити ефективність проекту до його запуску або в процесі коригування планів за зміни стану проектного середовища. Такий підхід забезпечує узгодженість між управлінськими процесами та окремими видами проектів розвитку складових інфраструктури громад, а також дає змогу приймати обґрунтовані управлінські рішення в умовах наявних обмежень ресурсів і ризиків.

Отже, введення інтелектуальної підсистеми у офіс управління інфраструктурними проектами, що передбачає використання описаних інтелектуальних моделей (табл. 1) дозволяє реалізувати модель інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами (безпекові, медичні та енергетичні) на рівні громад.

Для прикладу, ми задали умовну громаду, яка має проектне середовище із підвищеним ризиком реалізації проектів розвитку енергетичної та медичної інфраструктури внаслідок воєнних дій. Початкові умови проектного середовища включали такі значення: 1) середній рівень початкового ресурсного забезпечення – 0,60 (у нормованих одиницях); 2) початковий інтегральний рівень ризиків – 0,45. Надалі на основі запропонованої концептуальної моделі інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами на рівні громад було створено комп'ютерну модель на мові Python.

У комп'ютерній моделі реалізовано п'яти-рівневу структуру, де кожен рівень, від інформаційного середовища до формування

цінності, має відповідне математичне представлення й алгоритмічну реалізацію в середовищі Python. На першому інформаційному рівні моделі здійснюється попередня обробка даних щодо ризиків, ресурсів і потреб стейкхолдерів. Ці вхідні дані надалі передаються до другого рівня, де віртуально моделюється діяльність офісу управління проектами. Зокрема, формується портфель із безпекових, медичних і енергетичних проектів, кожен з яких має власні характеристики тривалості, потреби у ресурсах і рівень пріоритету.

На третьому рівні, що відповідає самому портфелю, проекти оцінюються за допомогою функції інтегральної цінності, в якій враховано п'ять основних параметрів – ризики, ресурсне забезпечення, доступність послуг, тривалість реалізації та енергетична автономність. Значення цінності коригується з урахуванням вагових коефіцієнтів, визначених для п'яти груп стейкхолдерів. Це дозволяє проводити адаптивне ранжування проектів та формувати сценарії розвитку.

У комп'ютерній моделі використано мову Python, зокрема бібліотеки `pumpy`, `pandas` та `matplotlib`, а також власні модулі для моделювання ризиків. Підсистема управління ризиками в моделі включає побудову матриць ризику, де для кожного проекту визначається імовірність загроз і ступінь їх впливу. На кожному кроці симуляції модель оновлює параметри проектного середовища, зокрема ресурсну забезпеченість та ризик-профіль, що дозволяє оцінити ефективність управлінських рішень у динаміці.

В результаті, комп'ютерна модель забезпечує можливість імітації реалізації інфраструктурних проектів у різних сценаріях – базовому, оптимістичному та песимістичному. Це дозволяє наочно оцінити зміну інтегральної цінності у часі, виявити критичні точки впливу ризиків, а також сформувати обґрунтовані управлінські рекомендації для громади.

На основі її використання змодельовано три типові сценарії реалізації інфраструктурних проектів – базовий, оптимістичний та песимістичний. У результаті досліджень побудовано гістограму зміни показника інтегральної цінності реалізації інфраструктурних проектів (безпековий, медичний та енергетичний) на рівні громад (рис. 2).

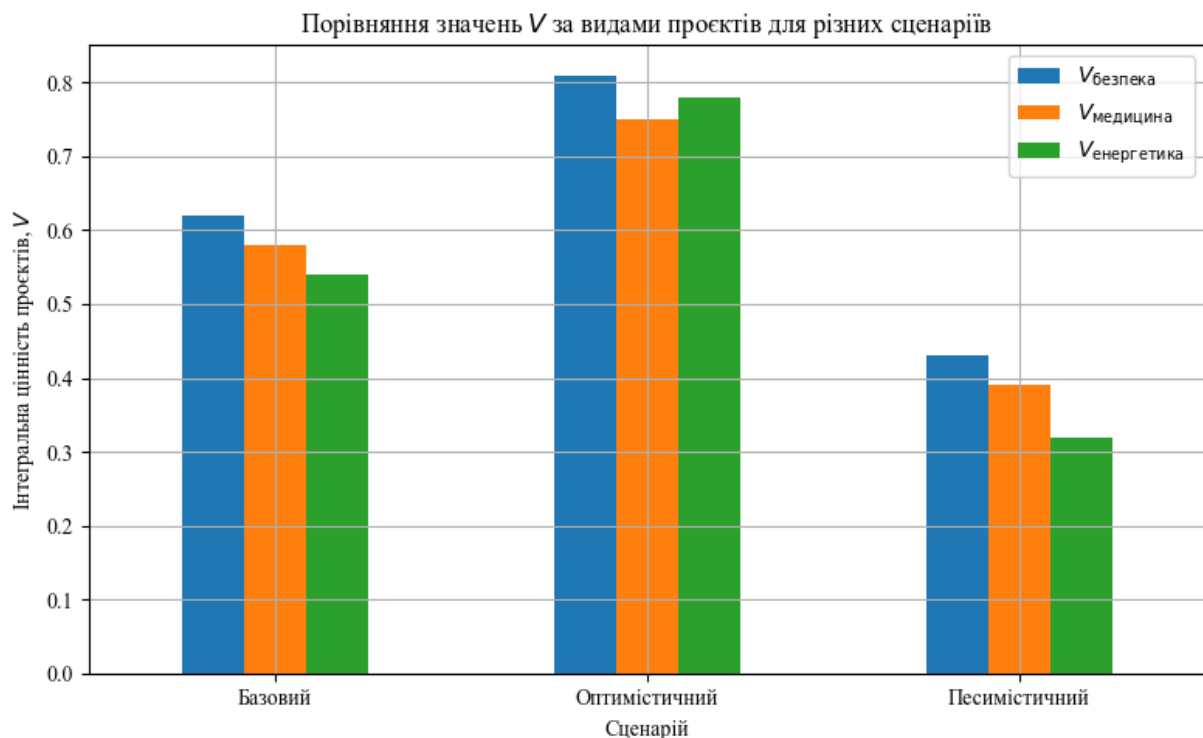


Рисунок 2 – Гістограма зміни показника інтегральної цінності реалізації інфраструктурних проектів (безпековий, медичний та енергетичний) на рівні громад

На гістограмі (рис. 2) подано значення показника інтегральної цінності реалізації інфраструктурних проектів (безпековий, медичний та енергетичний) на рівні громад. У базовому сценарії спостерігається помірний рівень ефективності реалізації проектів – $V_{\text{безпека}} = 0,62$, $V_{\text{медицина}} = 0,58$ та $V_{\text{енергетика}} = 0,54$.

За песимістичного сценарію зі зростанням рівня ризиків до 0,65 та скорочення доступних ресурсів до 0,41, показники інтегральної цінності реалізації інфраструктурних проектів стрімко

падають. При цьому найнижче значення спостерігається у проектах розвитку енергетики громади – $V_{\text{енергетика}} = 0,32$. Оптимістичний сценарій за забезпечення ресурсами на рівні 0,82 та зменшення рівня ризиків до 0,3 показує найкращі результати. При цьому усі види інфраструктурних проектів перевищують межу значення показника інтегральної цінності 0,75.

У таблиці 2 представлено значення показників інтегральної цінності реалізації інфраструктурних проектів для кожного сценарію.

Таблиця 2

Результати визначення показників інтегральної цінності реалізації інфраструктурних проектів для кожного сценарію

Сценарій	$V_{\text{безпека}}$	$V_{\text{медицина}}$	$V_{\text{енергетика}}$	Рівень ризиків	Забезпечення ресурсами	Показник інтегральної цінності	Індекс ефективності
Базовий	0,62	0,58	0,54	0,45	0,60	0,58	0,756
Оптимістичний	0,81	0,75	0,78	0,30	0,82	0,78	2,063
Песимістичний	0,43	0,39	0,32	0,65	0,41	0,38	0,236

Дані таблиці 2 свідчать про те, що раціональним є оптимістичний сценарій, де індекс ефективності становить 2,063, тоді як у песимістичному – лише 0,236, а в базовому – 0,756. Навіть незначне підвищення доступності ресурсів і зниження ризиків дає суттєвий позитивний ефект, що підтверджує доцільність

впровадження адаптивної інтелектуальної моделі управління проектами в реальному часі.

Загальні висновки.

1. На підставі результатів дослідження проаналізовано сучасний стан наукових підходів і практичних рішень щодо управління проектами розвитку критичної інфраструктури в умовах

ризиків. Встановлено, що більшість існуючих моделей орієнтовані на окремі види проектів та не враховують системну взаємодію між проектами розвитку безпеки, медицини та енергетики громад. Зокрема, виявлено відсутність адаптивних підходів до управління такими проектами, які здатні ефективно реагувати на зміни у проектному середовищі, що зумовлюють рівень ризиків, потребу у ресурсах і соціальні потреби населення громад. Саме це зумовлює потребу у розробці моделі, що базується на мульти-секторальному підході з використанням інтелектуальних технологій.

2. Розроблено концептуальну модель інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами на рівні громад, яка передбачає 5 взаємопов'язаних рівнів, якими забезпечується поєднання функціонування підсистем аналізу проектного середовища, мульти-секторального управління ризиками, прийняття управлінських рішень та оцінки цінності 3 видів проектів для різних груп зацікавлених сторін. Запропонована модель базується на інтегральній функції цінності, яка залежить від п'яти основних параметрів (рівня ризиків, тривалості реалізації, забезпечення ресурсами, доступності медичних послуг та енергетичної автономності). Окрім того, вона передбачає механізм оцінки цінності окремо для різних груп зацікавлених сторін, а саме населення громад, держави, адміністрації громад, фахівців і менеджерів проектів, що дозволяє визначати раціональні сценарії та пріоритетні інфраструктурні проекти.

3. На основі запропонованої концептуальної моделі інтелектуального мультисекторального управління інфраструктурними проектами на рівні громад було створено комп'ютерну модель мовою Python. Із її використанням на прикладі заданої громади оцінено інтегральну цінність трьох видів інфраструктурних проектів (безпековий, медичний та енергетичний). У результаті побудовано гістограму (рисунок 2), яка демонструє зміну показників цінності залежно від сценаріїв реалізації інфраструктурних проектів. У базовому сценарії проект розвитку медицини має інтегральну цінність 0,585, енергетики – 0,570, а безпеки – 0,609. За використання оптимістичного сценарію найвищу цінність має проект розвитку безпеки – 0,828, у той час як медицини і енергетики – відповідно 0,798 і 0,778. Песимістичний сценарій показує зниження показників цінності до рівня 0,419 для проекту розвитку безпеки, 0,409 – для проекту розвитку медицини та 0,393 – для проекту розвитку енергетики. Це підтверджує доцільність впровадження динамічних моделей управління

інфраструктурними проектами розвитку громад, чутливих до змін проектного середовища.

Список літератури:

1. Zachko I., Ivanusa A., Kobylkin D. Hybrid management of programs of territorial systems development projects by means of convergence mechanisms. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2020. 4 (14), 40-46. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.040>
2. Чернишова Л. І., Бондар К. Р., Красіловська Л. О. Особливості управління ризиками в умовах дії воєнного стану: моделі поведінки сучасних підприємств. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету: збірник наукових праць*. Одеса: Одеський національний економічний університет, 2024. № 3-4 (316-317). С. 126-136. <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2024-3-4-316-317-126-136>
3. Білик Б., Кобилкін Д. Управління проектами відновлення інфраструктури України. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: *Зб. наук. праць Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів*. Львів: ЛДУ БЖД, 2023. С. 416-419.
4. Захарчишин С.В., Зачко О.Б. Футурологічні засади управління інфраструктурними проектами в умовах воєнного стану. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2024. 30, 220-228. <https://doi.org/10.32447/20784643.30.2024.21>
5. Тригуба А., Маланчук О., Ратушний А., Паньків О., Коваль Л., Шолудько Р., Андрушків О. Адаптивно-ціннісний підхід до управління проектами розвитку громад та регіонів. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження*, 2023, 27, С. 113–126. doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.113
6. Маланчук О., Тригуба А., Шолудько Р. Стейкхолдер-орієнтовані технології конфлікт-менеджменту в проектах створення та розвитку мережі медичних закладів. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2024. № 30. С. 229–243. <https://doi.org/10.32447/20784643.30.2024.22>
7. Ratushny R., Tryhuba A., Bashynsky O., Ptashnyk V. Development and usage of a computer model of evaluating the scenarios of projects for the creation of fire fighting systems of rural communities. *XI-th International Scientific and Practical Conference on Electronics (ELIT-2019)*. 2019. P. 34-39. URL: ieeexplore.ieee.org/document/8892320 (Last accessed: 16.10.2023).

8. Придатко О., Ляковська С., Мартин С., Хлевной О. Моделювання багатопараметричних систем. Львів: ЛДУ БЖД, 2021. 245 с.
9. Martyn Y., Smotr O., Burak N., Prydatko O., Malets I. Software for Shelter's Fire Safety and Comfort Levels Evaluation. In book: *Data Stream Mining & Processing*. 2020. pp.457-469. DOI:10.1007/978-3-030-61656-4_31
10. Тригуба А. М., Ратушний А. Р., Демчина В. Р., Коваль Л. С. Особливості управління проектами відновлення транспортної та безпекової інфраструктури сільських громад у післявоєнний період. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2023. № 28. С. 44–54. <https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.05>
11. Богуцький С. В. Джерелознавчий аналіз проблематики проектного управління: огляд сучасного закордонного дискурсу. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2022. № 2(81). С. 106–112. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.2.12>
12. Васильченко Г., Парасюк І., Єременко Н. Планування розвитку територіальних громад: навчальний посібник для посадових осіб місцевого самоврядування. Київ: Асоціація міст України, 2015. 256 с. <https://www.auc.org.ua/sites/default/files/library/1plangrweb.pdf>
13. Bellini E., Gaitanidou E., Bekiaris E., Ferreira P. The RESOLUTE project's European Resilience Management Guidelines for Critical Infrastructure: development, operationalisation and testing for the urban transport system. *Environment Systems and Decisions*. 2020. 40(3). P. 321–341. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10669-020-09765-0> (Last accessed: 03.02.2025).
14. Lising J.A., Silva D.L. Critical Factors Affecting Fast-Track Construction Management for Infrastructure Projects: Validated Scale Development and K-Means Clustering Algorithms Insights. *Proceedings of the 2024 8th International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences (ICMSS)*. 2024. P. 114–121. URL: <https://10.1109/ICMSS61211.2024.00028> (Last accessed: 03.02.2025).
15. Ratushnyi A., Lub P., Rudynets M., Visyn O. The Value Formation Model of the Project's Implementation for the Territorial Rescue Structures Creation to a Consequences Elimination of a Military Emergency Situations. *Proceedings of the 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023)*. Conference. Warsaw, Poland, May 19, 2023. pp. 59-70. <https://ceur-ws.org/Vol-3453/paper6.pdf> (Last accessed: 05.02.2025).
16. Tryhuba A., Demchyna V., Ratushnyi A., Koval L. Identification of priority objects for the implementation of projects to restore the transport infrastructure of settlements in the post-war period. *Proceedings of the 5th International Workshop IT Project Management (ITPM 2024)*. Conference. Bratislava, Slovakia, May 22, 2024. pp. 219-231. <https://ceur-ws.org/Vol-3709/paper18.pdf> (Last accessed: 05.02.2025).
17. Mitrakas C., Xanthopoulos A., Koulouriotis D. Techniques and Models for Addressing Occupational Risk Using Fuzzy Logic, Neural Networks, Machine Learning, and Genetic Algorithms: A Review and Meta-Analysis. *Applied Sciences*. 2025. 15(4). P. 1909. URL: doi.org/10.3390/app15041909 (Last accessed: 09.02.2025).
18. Voumik L.C., Raja K., Ramamoorthy A., Dutta A. A Study on Mathematics Modeling using Fuzzy Logic and Artificial Neural Network for Medical Decision Making System. *Proceedings of the 2023 International Conference on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solutions (CISES)*. 2023. P. 1–6. URL: doi.org/10.1109/CISES58720.2023.10183534 (Last accessed: 09.02.2025).
19. Korenevskiy N. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems. *Biomedical Engineering*. 2015. 49(1). P. 46–49. URL: <https://doi.org/10.1007/s10527-015-9494-x> (Last accessed: 09.02.2025).
20. Ahmad S., Hasan S.M.N., Hossain M.S., Uddin R., Ahmed T., Mustayen A.G.M.B., Hazari M.R., Hassan M., Parvez M.S., Saha A. A Review of Hybrid Renewable and Sustainable Power Supply System: Unit Sizing, Optimization, Control, and Management. *Energies*. 2024. 17(23). P. 6027. URL: <https://doi.org/10.3390/en17236027> (Last accessed: 10.02.2025).
21. Hutsol T., Cieszewska A., Andrushkiv O., Glowacki S., Bryś A., Slobodian S., Tulej W., Sojak M. Prediction of Biogas Production Volumes from Household Organic Waste Based on Machine Learning. *Energies*. 2024. 17(7). P. 1786. URL: <https://doi.org/10.3390/en17071786> (Last accessed: 10.02.2025).
22. Nazari-Heris M., Esfehankalateh A.T., Ifaei P. Hybrid Energy Systems for Buildings: A Techno-Economic-Enviro Systematic Review. *Energies*. 2023. 16(12). P. 4725. URL: doi.org/10.3390/en16124725 (Last accessed: 10.02.2025).

References:

1. Zachko I., Ivanusa A., Kobylkin D. Hybrid management of territorial systems development project programs using convergence mechanisms. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. 4(14). P. 40–46. Retrieved from: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.040> (in Eng.)

2. Cernyshova L.I., Bondar K.R., Krasilovska L.O. Features of risk management under martial law: behavior models of modern enterprises. *Scientific Bulletin of Odesa National Economic University*. 2024. No. 3–4(316–317). P. 126–136. Retrieved from: <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2024-3-4-316-317-126-136> (in Ukr.)
3. Bilyk B., Kobylkin D. Project management for the restoration of Ukraine's infrastructure. *Problems and Prospects of the Development of Life Safety Systems: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Cadets and Students*. Lviv: Lviv State University of Life Safety. 2023. P. 416–419. (in Ukr.)
4. Zakharchyshyn S.V., Zachko O.B. Futurological principles of infrastructure project management under martial law. *Bulletin of the Lviv State University of Life Safety*. 2024. No. 30. P. 220–228. <https://doi.org/10.32447/20784643.30.2024.21> (in Ukr.)
5. Tryhuba A., Malanchuk O., Ratushnyi A., Pankiv O., Koval L., Sholudko R., Andrushkiv O. Adaptive-value-based approach to the management of community and regional development projects. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series: Agroengineering Research*. 2023. No. 27. P. 113–126. doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.113 (in Ukr.)
6. Malanchuk O., Tryhuba A., Sholudko R. Stakeholder-oriented conflict management technologies in projects for the creation and development of a network of medical institutions. *Bulletin of the Lviv State University of Life Safety*. 2024. No. 30. P. 229–243. doi.org/10.32447/20784643.30.2024.22 (in Ukr.)
7. Ratushnyi R., Tryhuba A., Bashynsky O., Ptashnyk V. Development and usage of a computer model of evaluating the scenarios of projects for the creation of fire fighting systems of rural communities. *XI-th International Scientific and Practical Conference on Electronics (ELIT-2019)*. 2019. P. 34–39. Retrieved from: ieeexplore.ieee.org/document/8892320 (in Eng.)
8. Prydatko O., Liaskovska S., Martyn Ye., Khlevnoi O. Modeling of multiparameter systems. Lviv: Lviv State University of Life Safety. 2021. 245 p. (in Ukr.)
9. Martyn Y., Smotr O., Burak N., Prydatko O., Malets I. Software for Shelter's Fire Safety and Comfort Levels Evaluation. In book: *Data Stream Mining & Processing*. 2020. P. 457–469. doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_31 (in Eng.)
10. Tryhuba A.M., Ratushnyi A.R., Demchyna V.R., Koval L.S. Features of project management for the restoration of transport and safety infrastructure in rural communities during the post-war period. *Bulletin of the Lviv State University of Life Safety*. 2023. No. 28. P. 44–54. doi.org/10.32447/20784643.28.2023.05 (in Ukr.)
11. Bohutskyi S.V. Source analysis of project management issues: overview of the modern foreign discourse. *Bulletin of Kherson National Technical University*. 2022. No. 2(81). P. 106–112. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.2.12> (in Ukr.)
12. Vasylenko H., Parasiuk I., Yeremenko N. Planning the development of territorial communities: manual for local self-government officials. Kyiv: Association of Ukrainian Cities, 2015. 256 p. https://www.auc.org.ua/sites/default/files/library/1pl_angrweb.pdf (in Ukr.)
13. Bellini E., Gaitanidou E., Bekiaris E., Ferreira P. The RESOLUTE project's European Resilience Management Guidelines for Critical Infrastructure: development, operationalisation and testing for the urban transport system. *Environment Systems and Decisions*. 2020. 40(3). P. 321–341. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10669-020-09765-0> (in Eng.)
14. Lising J.A., Silva D.L. Critical Factors Affecting Fast-Track Construction Management for Infrastructure Projects: Validated Scale Development and K-Means Clustering Algorithms Insights. *Proceedings of the 2024 8th International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences (ICMSS)*. 2024. P. 114–121. <https://doi.org/10.1109/ICMSS61211.2024.00028> (in Eng.)
15. Ratushnyi A., Lub P., Rudynets M., Visyn O. The Value Formation Model of the Project's Implementation for the Territorial Rescue Structures Creation to a Consequences Elimination of a Military Emergency Situations. *Proceedings of the 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023)*. Warsaw, Poland. May 19, 2023. P. 59–70. <https://ceur-ws.org/Vol-3453/paper6.pdf> (in Eng.)
16. Tryhuba A., Demchyna V., Ratushnyi A., Koval L. Identification of priority objects for the implementation of projects to restore the transport infrastructure of settlements in the post-war period. *Proceedings of the 5th International Workshop IT Project Management (ITPM 2024)*. Bratislava, Slovakia. May 22, 2024. P. 219–231. <https://ceur-ws.org/Vol-3709/paper18.pdf> (in Eng.)
17. Mitras C., Xanthopoulos A., Koulouriotis D. Techniques and Models for Addressing Occupational Risk Using Fuzzy Logic, Neural Networks, Machine Learning, and Genetic Algorithms: A Review and Meta-Analysis. *Applied Sciences*. 2025. 15(4). P. 1909. doi.org/10.3390/app15041909 (in Eng.)
18. Voumik L.C., Raja K., Ramamoorthy A., Dutta A. A Study on Mathematics Modeling using

Fuzzy Logic and Artificial Neural Network for Medical Decision Making System. *Proceedings of the 2023 International Conference on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solutions (CISES)*. 2023. P. 1–6. doi.org/10.1109/CISES58720.2023.10183534 (in Eng.)

19. Korenevskiy N. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems. *Biomedical Engineering*. 2015. 49(1). P. 46–49. <https://doi.org/10.1007/s10527-015-9494-x> (in Eng.)

20. Ahmad S., Hasan S.M.N., Hossain M.S., Uddin R., Ahmed T., Mustayen A.G.M.B., Hazari M.R., Hassan M., Parvez M.S., Saha A. A Review of Hybrid Renewable and Sustainable Power Supply

System: Unit Sizing, Optimization, Control, and Management. *Energies*. 2024. 17(23). P. 6027. <https://doi.org/10.3390/en17236027> (in Eng.)

21. Hutsol T., Cieszewska A., Andrushkiv O., Glowacki S., Bryś A., Slobodian S., Tulej W., Sojak M. Prediction of Biogas Production Volumes from Household Organic Waste Based on Machine Learning. *Energies*. 2024. 17(7). P. 1786. doi.org/10.3390/en17071786 (in Eng.)

22. Nazari-Heris M., Esfehankalateh A.T., Ifaei P. Hybrid Energy Systems for Buildings: A Techno-Economic-Enviro Systematic Review. *Energies*. 2023. 16(12). P. 4725. doi.org/10.3390/en16124725 (in Eng.)

© А. М. Тригуба, Р. Я. Шолудько,
О. Я. Андрушків, Р. І. Олійник,
М. П. Коциловський, 2025.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 07.04.25

Прийнято до публікації 04.06.2025.