

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

РАТУШНИЙ Андрій Романович

УДК 005.8 : 614.84

ДИСЕРТАЦІЯ

ЦІНІСНО-ГІБРИДНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ РОЗВИТКУ БЕЗПЕКОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТЕРИТОРІЙ ТА ГРОМАД У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД

073 Менеджмент

07 Управління та адміністрування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А. Р. Ратушний

Науковий керівник:

Тригуба Анатолій Миколайович, доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Ратушний А. Р. Ціннісно-гібридне управління проєктами розвитку безпекової інфраструктури територій та громад у післявоєнний період. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 073 Менеджмент (07 Управління та адміністрування). Львівський державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Львів, 2026.

На підставі виконаних досліджень у цій роботі розв’язано важливу науково-прикладну задачу – підвищення ефективності реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період шляхом створення нових і вдосконалення наявних моделей та методів, які засновані на сучасних інформаційних технологіях, геоінформаційних системах, методах машинного навчання, що інтегруються у системи підтримки прийняття управлінських рішень.

Проаналізовано поточний стан предметної області, сучасних наукових підходів і практик управління проєктами. Обґрунтовано потребу створення нових та вдосконалення відомих моделей і методів управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Встановлено, що ціннісно-гібридний підхід та його основі розроблені моделі і методи управління проєктами створення пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період підвищують ефективність управління зазначеними проєктами.

Обґрунтовано доцільність та специфіку ціннісно-гібридного підходу до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур. Він лежить в основі розробки відповідних моделей і методів для управління цими проєктами у післявоєнний період. Запропонований ціннісно-гібридний підхід до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період базується використанні

аналітичних інструментів просторового аналізу з управлінської логіки стратегічного планування. Це забезпечує узгодження конфігурації проєктів із реальними потребами громад та динамічним проєктним середовищем, а також дає змогу швидко адаптувати управлінські рішення до актуального стану територій у післявоєнний період.

Розроблено структурну модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Вона базується на 6 базових складових, що дають змогу створити адаптивну систему проєктного управління. Удосконалено ціннісно-гібридний метод обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Він передбачає системне виконання 10 етапів та базується на використанні фреймворку OpenStreetMap, просторовому моделюванні та алгоритмі оптимізації. Цей інструментарій забезпечує підвищення ефективності прийняття управлінських рішень, раціональне планування ресурсів, мінімізацію часу реагування на надзвичайні ситуації та покращення безпеки об'єктів критичної інфраструктури в умовах обмежених ресурсів та динамічного проєктного середовища.

Удосконалено модель формування цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру. На відміну від існуючих запропонована модель базується на врахуванні особливостей та структури цінностей у післявоєнний період. Розроблено нейромережеву модель прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій. Вона базується на обґрунтованій архітектурі багатошарового перцептрон (150, 100, 50). Оптимізовано параметри із використанням методу Adam та адаптивної швидкості навчання. Цей інструментарій забезпечує підвищення точності оцінки специфічних вигод для різних груп стейкхолдерів та процесу прогнозування. Він лежить в основі створення модулів для відповідної системи підтримки прийняття управлінських рішень.

Для заданого проєктного середовища обґрунтовано базу знань для ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Встановлені розподіли обсягу майнових втрат населення громади від окремих надзвичайних ситуацій свідчать про те, що реалізація проєкту зі створення додаткового рятувального формування забезпечить зменшення цих втрат на 33,2%. Встановлено, що за умови збільшення тривалості прибуття рятувальних формувань до 0,75 год і локалізації надзвичайної події до 1,45 год, прогнозована тривалість реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій зростає до 0,8 год, тоді як при оперативному реагуванні (прибуття $\leq 0,2$ год, локалізація $\leq 0,1$ год) вона знижується до 0,2 год. Такі результати підтверджують доцільність використання запропонованого інструментарію у практиці управління проєктами, а для проєктних менеджерів розроблено рекомендації, що забезпечать підвищення ефективності реалізації зазначених проєктів.

Запропонований управлінський інструментарій упроваджено в діяльність Головного управління ДСНС України у Львівській області. Це дало змогу автоматизувати процеси ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період на основі використання розроблених алгоритмів та програмних модулів. Запропонована методика та практичні рекомендації враховують динамічний характер післявоєнного проєктного середовища, обмежені ресурси, зміни структури громад і утворення нових зон підвищеного ризику. Вони забезпечують підвищення точності прийняття управлінських рішень та ефективності проєктного управління.

Ключові слова: проєкти, управління, розвиток, громади, моделі, методи, цінність, ризик, безпека, пожежно-рятувальні структури, післявоєнний період.

ABSTRACT

Ratushnyi A. R. Value-based hybrid management of projects for the development of security infrastructure in territories and communities in the post-war period. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 073 Management (07 Management and Administration). Lviv State University of Life Safety of the State Emergency Service of Ukraine, Lviv, 2026.

Based on the research conducted in the dissertation, an important scientific and practical problem has been solved: improving the effectiveness of projects to create territorial fire and rescue structures in the post-war period by creating new and improving existing models and methods based on modern information technologies, geographic information systems, machine learning methods integrated into management decision support systems.

An analysis of the current state of the subject area, modern scientific approaches, and project management practices was conducted. The need to create new and improve existing models and methods for managing projects to create territorial fire and rescue structures in the post-war period was substantiated. It was established that the value-hybrid approach and the models and methods of managing projects to create fire and rescue structures in the post-war period developed on its basis increase the efficiency of managing these projects.

The feasibility and specificity of a value-hybrid approach to managing projects for the creation of territorial fire and rescue structures has been substantiated. It forms the basis for the development of appropriate models and methods for managing these projects in the post-war period. The proposed value-hybrid approach to managing projects for the creation of territorial fire and rescue structures in the post-war period is based on the use of analytical tools for spatial analysis from the management logic of strategic planning. This ensures that project configurations are aligned with the real needs of communities and the dynamic project environment, and allows management decisions to be quickly adapted to the current state of territories in the post-war period.

A structural model of the project management system for the creation of territorial fire and rescue structures in the post-war period has been developed. It is based on six basic components that enable the creation of an adaptive project management system. A value-hybrid method for justifying the rational configuration of territorial fire and rescue structures in the post-war period has been improved. It involves the systematic implementation of 10 stages and is based on the use of the OpenStreetMap framework, spatial modeling, and an optimization algorithm. This toolkit improves the effectiveness of management decisions, rational resource planning, minimizes response time to emergencies, and improves the security of critical infrastructure facilities in conditions of limited resources and a dynamic project environment.

The model for determining the value of projects to create territorial rescue structures for eliminating the consequences of military emergencies has been improved. Unlike existing models, the proposed model is based on taking into account the characteristics and structure of values in the post-war period. A neural network model for predicting the duration of hybrid emergency response projects has been developed. It is based on a well-founded architecture of a multilayer perceptron (150, 100, 50). Its parameters have been optimized using the Adam method and adaptive learning rate. This toolkit improves the accuracy of assessing specific benefits for different stakeholder groups and the forecasting process. It forms the basis for creating modules for the corresponding management decision support system.

For the given project environment, a knowledge base for value-hybrid management of projects to create territorial fire and rescue structures in the post-war period has been substantiated. The established distributions of property losses of the community population from individual emergencies indicate that the implementation of the project to create an additional rescue unit will reduce these losses by 33.2%. It has been established that with an increase in the arrival time of rescue units to 0.75 hours and the localization of an emergency to 1.45 hours, the projected duration of hybrid emergency response projects increases to 0.8 hours, while with an operational response (arrival ≤ 0.2 hours, localization ≤ 0.1 hours) it decreases to 0.2 hours. These

results confirm the feasibility of using the proposed tools in project management practice, and recommendations have been developed for project managers to ensure the increased efficiency of the implementation of these projects.

The proposed management tools have been implemented in the activities of the Main Directorate of the State Emergency Service of Ukraine in the Lviv region. This has made it possible to automate the processes of value-hybrid management of projects to create territorial fire and rescue structures in the post-war period based on the use of developed algorithms and software modules. The proposed methodology and practical recommendations take into account the dynamic nature of the post-war project environment, limited resources, changes in the structure of communities, and the formation of new high-risk areas. They ensure greater accuracy in management decision-making and more effective project management.

Keywords: projects, management, development, communities, models, methods, value, risk, safety, fire and rescue structures, post-war period.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у міжнародних наукових виданнях і тих, що входять до міжнародних наукометричних баз (МНБ):

1. **Ratushnyi A.**, Ptashnyk V., Koval L., Lub P., Tatomyr A. A Neural Network Model for Predicting the Duration of Emergency Response Projects. *IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*, 2023. 195025. P. 1-4. <https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324279> (0,9 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus.** Особистий внесок автора полягає у розробці нейромережевої моделі для прогнозування тривалості гібридних проєктів реагування на надзвичайні ситуації та становить 0,4 друк. арк.

2. Tryhuba A., **Ratushnyi A.**, Lub P., Rudynets M. and 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> (0,95 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus**. Особистий внесок автора полягає у розробці моделі формування цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій у післявоєнний період та становить 0,5 друк. арк.

3. 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 5nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2024)*. Conference. Bratislava, Slovakia, May 22, 2024. pp. 219-231. <https://ceur-ws.org/Vol-3709/paper18.pdf> (0,9 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus**. Особистий внесок автора полягає в аналізі стану питання та здійснення оцінки поточного стану транспортної інфраструктури заданого населеного пункту у післявоєнний період із використанням відкритого сервісу OpenStreetMap (OSM) та становить 0,25 друк. арк.

4. Tryhuba A., Ratushnyi R., **Ratushnyi A.**, Koval L., Andrukhiv D. Creating value from the implementation of project portfolios for the development of territorial security systems. *Security Forum*. 2025. No. 1. pp. 45–58. DOI: https://doi.org/10.26410/SF_1/25/3. (0,85 д. а.). **Видання входить до МНБ – Index Copernicus**. Особистий внесок автора полягає в аналізі сучасних підходів до управління проєктами у сфері безпеки та формалізації концепції створення цінності. Внесок становить 0,25 друк. арк.

5. Tryhuba A.M., Ratushnyi R.T., Koval L.S., **Ratushnyi A.R.** Predicting the level of availability of volunteer rescue teams in rural communities based on openstreetmap data and deep learning. *Radio electronics, computer science, control*. 2025. No. 4. pp. 154–172. DOI <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2025-4-14> **Видання входить до МНБ – Web of Science**. Особистий внесок автора полягає у формулюванні проблеми та обґрунтуванні використання геопросторових

даних для моделювання розміщення рятувальних підрозділів у сільській місцевості. Внесок становить 0,25 друк. арк.

Статті у наукових фахових виданнях України:

6. Tryhuba A. M., Koval N. Ya., **Ratushnyi A. R.**, Tryhuba I. L., Shevchuk V. V. Algorithm for the routes formation of food raw materials procurement on the community territory taking into account the production conditions during emergency situations. Applied Aspects of Information Technology. Publ. Nauka i Tekhnika. Odessa: Ukraine. 2023; Vol. 6 No.1: 60–73. <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.5>

(1,1 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні специфічних виробничих умов, які зумовлюють тривалість руху транспортних засобів під час надзвичайних ситуацій на заданій території, що становить 0,2 друк. арк.*

7. Тригуба А., Маланчук О., **Ратушний А.**, Паньків О., Коваль Л., Шолудько Р., Андрушків О. Адаптивно-ціннісний підхід до управління проєктами розвитку громад та регіонів. Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження, 2023, 27, С. 113–126. doi: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.113>. (1,1 д. а.).

Особистий внесок автора полягає в формуванні варіантів конфігурації проєктів безпеки та визначення показників доцільності їх включення у портфель розвитку громади, що становить 0,2 друк. арк.

8. Тригуба А. М., **Ратушний А. Р.**, Демчина В. Р., Коваль Л. С. Особливості управління проєктами відновлення транспортної та безпекової інфраструктури сільських громад у післявоєнний період. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 2023, 28, 44-54. <https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.05> (1,2 д. а.).

Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні структурної моделі системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, що становить 0,3 друк. арк.

9. Тригуба А. М., Демчина В. Р., **Ратушний А. Р.**, Коваль Л. С. Метод та результати визначення пріоритетних об'єктів під час ініціації проєктів

відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 2024, 29, 141-151. <https://doi.org/10.32447/20784643.29.2024.15> (1,01 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в отриманні та аналізі просторових даних про об'єкти транспортної інфраструктури із відкритого сервісу OpenStreetMap для ініціації проєктів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час, що становить 0,2 друк. арк.*

10. Демчина В. Р., **Ратушний А. Р.** Модель та результати оцінення стану населених пунктів під час реалізації проєктів розвитку транспортної інфраструктури у післявоєнний період. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 2024, Вип. 1(144), 46-53. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.1.6> (0,65 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в аналізі стану питання в науці та практиці управління проєктами, а також у аналізі транспортної інфраструктури населених пунктів, що перебувають у зоні бойових дій, який дає змогу оцінити доцільність створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, що становить 0,3 друк. арк.*

11. Тригуба А. М., Ратушний Р. Т., **Ратушний А. Р.**, Коваль Л. С. Івануса А.І. Оптимізація безпекової інфраструктури у програмах післявоєнного відновлення з використанням сучасних геоінформаційних систем. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 2025. 31, 196-212. <https://doi.org/10.32447/20784643.31.2025.20> (1,53 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в розробці методу оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів на заданій адміністративній території, що становить 0,65 друк. арк.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

12. Тригуба А. М., **Ратушний А. Р.**, Рудинець М. В., Федорчук-Мороз В. І. Алгоритм та програмне забезпечення обґрунтування раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад. *Інформаційні технології в енергетиці та*

агропромислового комплексу: матеріали XI Міжнар. наук. Конференції. Львів, 04-06 жовтня 2022 р. Львів : ЛНУП, 2022. С. 67-71. (0,2 д. а.). Особистий внесок автора полягає у розробці алгоритму обґрунтування раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад та становить 0,07 друк. арк.

13. **Ратушний А.**, Коваль Н., Коваль Л., Тригуба Б. Сучасні інформаційні технології планування створення добровільних рятувальних формувань для сільських громад. *Інформаційна безпека та інформаційні технології: збірник тез доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, студентів і курсантів, м. Львів, 30 листопада 2023 року. Львів, ЛДУ БЖД, 2023. С. 398-400. (0,2 д. а.). Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні головних складових, які впливають на ефективність процесу планування створення добровільних рятувальних формувань для сільських громад та становить 0,05 друк. арк.*

14. Тригуба А. М., **Ратушний А. Р.** Прикладне програмне забезпечення для визначення раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад у повоєнний період. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництва: каталог інноваційних розробок; за заг. ред. В. В. Снітинського, Б. І. Гулька. Вип. 23. Львів: Львів. нац. ун-т. природ., 2023. С. 47. (0,08 д. а.). Особистий внесок автора полягає у розробленні прикладного програмного забезпечення для визначення раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад у повоєнний період та становить 0,05 друк. арк.*

15. Тригуба А.М., Татомир А.В., **Ратушний А.Р.**, Коваль Л.С. Алгоритм визначення ефективних сценаріїв проєктів розвитку систем безпеки на території громад. *Інформаційні технології в енергетиці та агропромислового комплексу: матеріали XII Міжнар. наук. конференції (Львів, 04-06 жовтня 2023 р.). ЛНУП : за заг. ред. В. В. Снітинського. Львів : ЛНУП, 2023. С. 73-75. (0,125 д. а.). Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні доцільності використання великих даних, які сформовані на території окремих громад, а також моделей машинного навчання, для розробки інструментарію визначення ефективних сценаріїв проєктів розвитку систем безпеки та становить 0,04 друк. арк.*

16. Тригуба А. М., Демчина В. Р., **Ратушний А. Р.**, Коваль Л. С. Визначення сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури населених пунктів у післявоєнний час. *Управління проєктами у розвитку суспільства: Управління проєктами післявоєнної розбудови України: тези доп. XXI-ї Міжн. конф.*, Київ: КНУБА, 2024. С.229-232. (0,18 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні доцільності реалізації проєктів відновлення об'єктів інфраструктури населених пунктів у післявоєнний час та становить 0,05 друк. арк.*

17. Тригуба А. М., Демчина В. Р., **Ратушний А. Р.**, Коваль Л. С., Андрушків О. Я. Архітектура системи збору даних та моделі об'єктів інфраструктурних проєктів. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву: каталог інноваційних розробок*; за заг. ред. В. І. Лопушняка, Б. І. Гулька. Вип. 24. Львів: Львів. нац. ун-т. природ., 2024. С. 27. (0,08 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у визначенні у розробці моделей об'єктів інфраструктурних проєктів та становить 0,015 друк. арк.*

18. **Ратушний А.**, Коваль Л., Тригуба А. Модель узгодження конфігурацій проєктів створення добровільних рятувальних формувань для сільських громад із характеристиками проєктного середовища у післявоєнний період. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів.*, м. Львів 28-29 березня 2024 року. Львів: ЛДУ БЖД, 2024. С. 361-365. (0,2 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у розробленні моделі процесу узгодження конфігурацій проєктів створення добровільних рятувальних формувань із характеристиками проєктного середовища у післявоєнний період та становить 0,08 друк. арк.*

19. Ратушний Р., **Ратушний А.**, Андрухів Д. Менеджмент гібридних проєктів систем безпеки. *Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення : збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Львів, 13 грудня 2024 року. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С. 203-205. (0,125 д. а.). *Особистий внесок автора*

полягає у обґрунтуванні особливостей планування та реалізації гібридних проєктів із використанням сучасних методологій проєктного менеджменту та становить 0,04 друк. арк.

20. Тригуба А.М., Коваль Л.С., **Ратушний А.Р.**, Андрушків О.Я., Олійник Р.І. Доцільність та особливості реалізації проєктів розвитку інфраструктури регіонів у післявоєнний час. Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи в управлінні проєктами та програмами», Коблево, 9–13 вересня 2024 р. Збірник праць. Харків: ХНУРЕ, 2024. С. 220-224. (0,167 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні особливостей реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період та становить 0,04 друк. арк.*

21. **Ратушний А.Р.**, Коваль Л.С. Інтеграція ризик-менеджменту та ціннісного підходу в управління проєктами пожежної безпеки громад. *Інновіс сучасних трендів в менеджменті безпеки: національна безпека та оборона : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції*, м. Львів, 23 травня 2025 року. Львів: ЛДУБЖД, 2025. С. 308-313. (0,255 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні моделі управління проєктами пожежної безпеки громад на основі ціннісно-гібридного підходу та становить 0,155 друк. арк.*

22. **Ратушний А.Р.**, Коваль Л.С., Тригуба А.М. Автоматизована кластеризація пошкоджень доріг для руху пожежно рятувальних формувань на заданій території у післявоєнний період. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів*, м. Львів, 27-28 березня 2025. Львів: ЛДУБЖД, 2025. С. 418-422. (0,26 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні автоматизованої кластеризації пошкоджень доріг для руху пожежно-рятувальних формувань на заданій території у післявоєнний період та становить 0,08 друк. арк.*

ЗМІСТ

ВСТУП	17
Розділ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ТЕОРІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТВОРЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ПОЖЕЖНО- РЯТУВАЛЬНИХ СТРУКТУР	
1.1. Сучасний стан створення пожежно-рятувальних структур	26
1.2. Вплив війни на реалізацію проєктів створення пожежно-рятувальних структур	32
1.3. Аналіз стану оцінки цінності проєктів розвитку систем безпеки	38
1.4. Аналіз сучасних підходів до управління проєктами у сфері безпеки	43
1.5. Планування розташування пожежно-рятувальних підрозділів	46
1.6. Аналіз наукових праць прогнозування тривалості реалізації проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій	50
Висновки до 1 розділу	52
Розділ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТВОРЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ СТРУКТУР У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД	
2.1. Теоретико-термінологічні засади управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період	55
2.2. Архітектура дисертаційного дослідження	60
2.3. Ціннісно-гібридний підхід до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період	62
2.4. Особливості узгодження конфігурацій проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур із динамічним проєктним середовищем у післявоєнний період	73
2.5. Обґрунтування складових проєктного середовища гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період	77
Висновки до розділу 2	81

Розділ 3. МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТВОРЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ СТРУКТУР У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД	84
3.1. Структурна модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період	84
3.2. Модель формування цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій	90
3.3. Ціннісно-гібридний метод обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період	100
3.4. Аналіз та підготовка даних для обґрунтування нейромережевої моделі прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій	111
3.5. Обґрунтування нейромережевої моделі прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій	123
Висновки до розділу 3	135
Розділ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ БАЗИ ДАНИХ ТА ЗНАНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТОРЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ СТРУКТУР У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД.....	138
4.1. Результати узгодженої координації виконання робіт у проєктах створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури	138
4.2. Результати створення інформаційної системи та кількісної оцінки показників базової цінності проєктів створення територіальних аварійно- рятувальних структур	142
4.3. Результати оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів	150
4.4. Результати використання нейромережевої моделі для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій ...	158
Висновки до розділу 4	163
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	165
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	168

ДОДАТКИ.....	189
Додаток А. Аналіз складових гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій	191
Додаток Б. Результати навчання нейромережевих моделей прогнозування тривалості гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.....	196
Додаток В. Список публікацій здобувача за темою дисертації	199
Додаток Д. Відомості про апробацію результатів дисертації	206
Додаток Е. Акти впровадження науково-дослідної роботи у практику	208

ВСТУП

Актуальність теми. Створення ефективної системи територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період в Україні є основою для безпеки населення, а також збереження їх матеріальних цінностей. Умови функціонування цих формувань, значною мірою відрізняються від умов мирного часу. Для післявоєнного періоду притаманне мінливе проєктне середовище. Воно характеризується масштабними руйнуваннями інфраструктури, змінами у структурі населених пунктів, переміщенням населення та появою нових зон підвищеного ризику [40; 43]. У такому проєктному середовищі досить актуальними є управлінські завдання з реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур.

У післявоєнний період актуальною науково-прикладною задачею є дослідження впливу стану мінливого проєктного середовища на особливості управління проєктами. Це потребує створення спеціалізованого управлінського інструментарію. На окрему увагу заслуговують проєкти створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період [145; 148]. Вони мають унікальні особливості, що лежать в основі управління ними. Зокрема, прийняття управлінських рішень потребує врахування не лише технічних та організаційних складових, а й соціально-психологічних чинників проєктного середовища, просторової доступності та безпекових викликів, що зумовлюють їх цінність.

Незважаючи на наявність низки наукових робіт, у яких розроблено загальні підходи та інструментарій для управління безпековими проєктами, науково-прикладні задачі розроблення адаптованого до післявоєнних умов інструментарію управління такими проєктами досі залишаються невирішеними. Саме тому розробка ціннісно-гібридного підходу та на його основі моделей і методів управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період є актуальною науковою та практичною задачею.

Серед вітчизняних і зарубіжних дослідників, які зробили значний внесок у розвиток цієї наукової проблематики, варто відзначити С. Д. Бушуєва, Н. С. Бушуєву, Т. А. Воркут, В. І. Воропаєва, В. Д. Гогунського, О. Б. Данченко, Є. А. Дружиніна, О. Б. Зачка, І. В. Кононенка, К. В. Кошкіна, П. Р. Левковця, В. В. Морозова, О. І. Мельниченка, В. М. Пітерську, А. Рассела, Ю. П. Рака, Р. Т. Ратушного, В. А. Рача, С. В. Руденка, О. В. Сидорчука, Х. Танаку, Ю. М. Теслю, А. М. Тригубу, А. М. Харченко, В. О. Хрутьбу, С. К. Чернова, І. В. Чумаченка, А. В. Шахова та інших науковців. Зазначені науковці та їхні послідовники створили методології, підходи, моделі й методи, що стали ефективними інструментами управління проєктами, програмами та портфелями в різних галузях. Проте інструментарій управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур поки що не повною мірою адаптований до сучасних інформаційних технологій і не враховує специфіку проєктного середовища у післявоєнний період.

Дисертація спрямована на розв'язання актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, з урахуванням їх специфічних особливостей. Це досягається шляхом розроблення нових та удосконалення наявних моделей і методів, що ґрунтуються на сучасних інформаційних технологіях та інтегруються в інструментарій управління такими проєктами. Отже, проведені дослідження скеровані на розв'язання важливої та актуальної науково-прикладної задачі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота узгоджується з основними положеннями «Про затвердження плану основних заходів цивільного захисту України на 2025 рік» (розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 грудня 2024 р. № 1313-р), «Державної стратегії регіонального розвитку України на 2021–2027 роки» (постанова Кабінету Міністрів України від 5 серпня 2020 р. № 695) та «Про затвердження плану основних заходів цивільного захисту територіальної підсистеми єдиної державної системи цивільного захисту Львівської області на

2025 рік» (розпорядження Львівської обласної військової адміністрації від 20 січня 2025 р. № 49/0/5-25ВА). Вона також базується на концепції науково-дослідної роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності «Розроблення управлінських, організаційних, технічних та інформаційних методів і заходів у галузі цивільного захисту». Відповідає планам науково-дослідної роботи кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту цього ж університету, зокрема проєкту «Наукові основи повоєнного відновлення та реновації регіональних систем критичної інфраструктури України: Бенчмаркінг світового досвіду та HR-фактор» (ДР № 01231Л102890). У межах виконання зазначених досліджень автор запропонував нові та удосконалив наявні моделі й методи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період.

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи є розробка моделей і методів ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період.*

Для досягнення мети було визначено такі *завдання*:

➤ провести аналіз поточного стану предметної області, сучасних наукових підходів і практик управління проєктами у сфері створення територіальних пожежно-рятувальних структур, обґрунтувати потребу розробки нових та вдосконалення наявних моделей і методів;

➤ обґрунтувати доцільність та специфіку ціннісно-гібридного підходу до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур, що лежить в основі розробки відповідних моделей і методів для управління цими проєктами у післявоєнний період;

➤ розробити структурну модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період та удосконалити ціннісно-гібридний метод обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, які базуються на використанні сучасних геоінформаційних систем;

- удосконалити модель формування цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру та розробити нейромережеву модель прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, яка базується на історичних даних реалізації зазначених проєктів;
- обґрунтувати базу знань для ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період на основі використання розроблених моделей та методів;
- впровадити у практику рекомендації ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період на основі використання обґрунтованої бази знань.

Об'єктом дослідження є управлінські процеси ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період.

Предметом дослідження є моделі та методи ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період.

Методи дослідження. Науково-прикладна задача підвищення якості реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період розв'язувалась на основі чинних міжнародних стандартів з управління проєктами із застосуванням сучасних інформаційних технологій підтримки прийняття рішень. У дослідженні використано аналіз наукової літератури та нормативно-правових документів для формування теоретичної бази, визначення обмежень і вимог, що діють у післявоєнному проєктному середовищі, системний підхід для опису взаємозв'язків між управлінськими процесами створення пожежно-рятувальних структур і відновлення транспортної інфраструктури, а також методи аналізу, синтезу, індукції та дедукції для обґрунтування особливостей узгодження трьох типів проєктів. Для побудови структурної моделі системи управління використано теорію та методи моделювання систем. Запропонована модель формування цінності від реалізації

проектів створення територіальних пожежно-рятувальних структур побудована із застосуванням методів аналізу зацікавлених сторін і бенчмаркінгу. Під час розроблення методу оптимізації розташування пожежно-рятувальних формувань застосовано геоінформаційне моделювання, алгоритми оптимізації та просторовий аналіз на основі фреймворку OpenStreetMap, сервісу Overpass Turbo, мови запитів Overpass QL і серверного ПЗ Overpass API. Для обробки статистичних даних про роботу рятувальних формувань використано методи математичної статистики, попереднього очищення, нормалізації та видалення викидів даних з метою підвищення точності прогнозування. Застосовано кореляційно-регресійний аналіз для встановлення зв'язків між часовими показниками реагування та характеристиками гібридних проектів ліквідації надзвичайних ситуацій. Для побудови прогнозової моделі тривалості реалізації гібридних проектів використано методи машинного навчання, зокрема порівняльний аналіз архітектур багатошарових перцептронів (MLP). Під час розроблення інформаційної системи підтримки прийняття рішень для кількісної оцінки та візуалізації показників базової цінності проектів створення територіальних рятувальних структур використано мову програмування Python 3.11 із її бібліотеками. Для визначення показників базової вартості реалізації проектів створення територіальних рятувальних структур з урахуванням стану проектного середовища використано методи моделювання, ітерацій та комп'ютерних експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці моделей і методів ціннісно-гібридного управління проектами розвитку безпекової інфраструктури територій та громад у післявоєнний період, які базуються на використанні сучасних інформаційних технологій, геоінформаційних систем і методів машинного навчання, що дають можливість підвищити якість прийняття управлінських рішень та отримати максимальну цінність для зацікавлених сторін завдяки врахуванню динамічного характеру післявоєнного проектного середовища, обмеженості ресурсів, змін структури громад і утворення нових зон підвищеного ризику. Це дозволило отримати такі наукові результати:

➤ вперше розроблено:

– структурну модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, що базується на системному узгодженні управлінських процесів в окремих видах проєктів післявоєнної відбудови громад завдяки мультиагентній взаємодії між офісом управління проєктами, виконавцями, ресурсами та системою моніторингу, чим забезпечується підвищення ефективності управління цими проєктами та зростання їх цінності;

– модель прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, яка базується на обґрунтованій архітектурі багатошарового перцептронну (MLP) завдяки оптимізації її параметрів із використанням методу Adam із адаптивною швидкістю навчання, що забезпечує підвищення точності процесу прогнозування та лежить в основі створення модуля для відповідної системи підтримки прийняття управлінських рішень;

➤ удосконалено:

– ціннісно-гібридний метод обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, що на відміну від існуючих базується на використанні сучасних геоінформаційних систем на основі фреймворку OpenStreetMap, просторовому моделюванні та оптимізації, чим забезпечується підвищення ефективності прийняття управлінських рішень в умовах обмежених ресурсів та динамічного проєктного середовища;

– модель формування цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, що на відміну від існуючих базується на врахуванні особливостей та структури цінностей у післявоєнний період, що забезпечує підвищення точності оцінки специфічних вигод для різних груп стейкхолдерів, а також прийняття ефективних управлінських рішень.

➤ набули подальшого розвитку термінологія та база знань, а також інструментарій управління проєктами розвитку безпекової інфраструктури

територій та громад у післявоєнний період, які забезпечують виконання управлінських процесів на основі сучасних інформаційних технологій.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені дослідження стали основою для розроблення:

- програмних модулів для оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів та інформаційної системи підтримки прийняття рішень для кількісної оцінки показників базової цінності проєктів створення територіальних аварійно-рятувальних структур, які базуються на використанні серверного програмного забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом для вибірки та аналізу даних з OpenStreetMap (OSM) за допомогою спеціальної мови запитів Overpass QL, що забезпечує швидкий та точний збір даних про стан проєктного середовища заданого адміністративного району, візуалізацію основних об'єктів критичної інфраструктури, що потребують підвищеного рівня захисту, а також дозволяють здійснювати автоматизоване виконання вказаних управлінських процесів;

- методик та рекомендацій з ціннісно-гібридного управління проєктами розвитку безпекової інфраструктури територій та громад на основі використання розроблених алгоритмів та програмних модулів, що базуються на розроблених моделях і методах, які враховують динамічний характер післявоєнного проєктного середовища, обмежені ресурси, зміни структури громад і утворення нових зон підвищеного ризику, а також підвищують результативність проєктного управління.

Результати досліджень, які представлені у дисертаційній роботі, впроваджено у Головному управлінні ДСНС України у Львівській області (м. Львів, акт впровадження від 15.10.2025р.). За результатами наших досліджень підготовлено методичні рекомендації для виконання практичних робіт з навчальних дисциплін «Управління проєктами розвитку організацій», «Планування та контроль проєктів із використанням ІТ» та «Інтелектуальні системи аналізу даних та підтримки прийняття рішень», для курсантів і студентів

Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (акт впровадження від 05.09.2025 р.).

Особистий внесок здобувача. Представлені на захист наукові положення, розробки та результати належать до галузі менеджменту (управління проєктами та програмами) та отримані мною особисто. Частка мого внеску у наукові праці, виконані у співавторстві, докладно зазначена у переліку публікацій за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи були представлені та схвалені на 12 міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях, семінарах та форумах: 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT) (Lviv, 2022), 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023) (Kyiv, 2023), 5nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2024) (Bratislava, 2024), XI-th International scientific conference «Information technologies in energy and agro-industrial complexitea» (ITEA 2022) (Lviv, 2022), VI Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, студентів і курсантів «Інформаційна безпека та інформаційні технології» (Львів, 2023), XII Міжнародній науковій конференції «Інформаційні технології в енергетиці та агропромисловому комплексі» (Львів, 2023), XXI Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проєктами післявоєнної розбудови України» (Київ, 2024), XIX Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (Львів, 2024), Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення» (Львів, 2024), Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи в управлінні проєктами та програмами» (Коблево, 2024), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інновінг сучасних трендів в менеджменті безпеки: національна безпека та оборона» (Львів, 2025), XX Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи

розвитку системи безпеки життєдіяльності» (Львів, 2025), звітних конференціях ад'юнктів та здобувачів Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (Львів, 2021–2025).

Публікації. За тематикою дисертації опубліковано 22 наукові роботи, серед яких 12 становлять наукові статті. Із них 5 розміщено в зарубіжних виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, а 6 – у наукових фахових виданнях України. Окрім того, опубліковано 8 праць у формі тез та матеріалів міжнародних і всеукраїнських наукових форумів, конференцій та семінарів, а також 2 наукових праці, присвячених додатковому висвітленню результатів дисертаційної роботи. Сукупний обсяг публікацій становить 12,73 друкованих аркушів, із яких 2,79 – особистий внесок автора.

Структура та обсяг роботи. Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, перелік використаних джерел та додатки. Загальний обсяг становить 208 сторінок, з яких 143 сторінки займає основний текст. Матеріал ілюстровано 36 рисунками та 22 таблицями. Список використаних джерел налічує 164 позиції. Робота містить 5 додатків, розміщених на 18 сторінках.

Розділ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ТЕОРІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТВОРЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ПОЖЕЖНО- РЯТУВАЛЬНИХ СТРУКТУР

1.1. Сучасний стан створення пожежно-рятувальних структур

Пожежно-рятувальні структури є базовою складовою системи безпеки громад. Вони забезпечують запобігання надзвичайним ситуаціям, оперативне реагування на них та ліквідацію їх наслідків. Їх ефективне функціонування безпосередньо впливає на швидкість відновлення інфраструктури, зменшення людських втрат та матеріальних збитків. Як зазначає Міжнародна організація цивільного захисту, сучасні пожежно-рятувальні формування мають поєднувати високу оперативність, достатнє технічне забезпечення та інтеграцію в систему місцевої інфраструктури безпеки [84].

У мирний час розвиток пожежно-рятувальних структур здебільшого має плановий характер, враховуючи потреби громад, доступне фінансування та стратегічні пріоритети держави у сфері цивільного захисту. Водночас навіть у країнах з усталеною інфраструктурою безпеки актуальною залишається потреба адаптації служб до динамічного проєктного середовища, зумовленого поєднанням дії кліматичних змін, техногенних загроз і соціальних викликів [76].

В умовах післявоєнного стану значення пожежно-рятувальних структур значно зростає. Збройна агресія призводить до збільшення кількості надзвичайних ситуацій, пошкодження або знищення пожежних депо, транспорту та засобів зв'язку. Українські дослідники наголошують, що в таких умовах проєкти створення або модернізації пожежно-рятувальних структур потребують нових підходів. Зокрема, міжмуніципальної кооперації, розгортання мобільних рятувальних модулів та застосування цифрових технологій планування [2]. Це створює передумови для формування ціннісно-гібридних моделей управління,

здатних поєднати стратегічні пріоритети безпеки з ресурсними обмеженнями регіонів та громад післявоєнного періоду.

У світовій практиці реалізація проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур базується на поєднанні централізованих і децентралізованих моделей управління. Вони адаптовані до адміністративно-територіального устрою та соціально-економічних умов країни. У країнах Європейського Союзу переважає концепція інтегрованих служб цивільного захисту. При цьому пожежно-рятувальні формування входять до єдиної структури кризового реагування. Взаємодія між ними регламентується Європейським механізмом цивільного захисту (EU Civil Protection Mechanism) [84].

У США діє багаторівнева система, в якій місцеві пожежні департаменти тісно співпрацюють із Федеральним агентством з надзвичайних ситуацій (FEMA). Це забезпечує координацію ресурсів під час масштабних катастроф [79]. Канадська модель вирізняється високим рівнем участі добровольчих пожежних формувань. Вони становлять до 70% усіх рятувальних сил у малих громадах [64]. Держави Балтії, враховуючи свій обмежений територіальний ресурс і безпекові виклики, застосовують комбіновану схему. Така схема передбачає поєднання професійних підрозділів у великих містах та добровольчих бригад у сільських регіонах [113].

В Україні нормативна база, за якою створюються пожежно-рятувальні формування, не обмежується одним законом чи інструкцією. Це ціла система документів, що накопичувалася роками. Серед основних Закон України «Про пожежну безпеку», де закладено базові принципи організації протипожежного захисту. Але, як показує практика, лише цього закону замало, і тому значну роль відіграє Кодекс цивільного захисту України [5]. У ньому, окрім загальних положень, детально розписано, хто і за що відповідає – від центральних органів влади до невеликих добровольчих команд у селах.

До цього додаються державні будівельні норми та галузеві стандарти. Вони на перший погляд виглядають «сухими» – цифри, таблиці, технічні вимоги.

Але саме вони визначають, наприклад, скільки метрів має бути до пожежного гідранта або яка пропускна здатність повинна бути у під'їзної дороги, щоб техніка могла проїхати навіть узимку.

І, звісно, варто згадати стратегічний рівень. Тут перше місце займає «Стратегія реформування системи цивільного захисту до 2030 року» [14]. Вона не лише про оновлення автопарку чи ремонт депо, а й про більш глибоку інтеграцію добровольців у єдину систему реагування, впровадження цифрових платформ моніторингу й моделювання ризиків. Такий підхід особливо потрібен у післявоєнний час, коли громади змушені працювати в умовах дефіциту ресурсів і постійної потреби швидко реагувати на нові виклики.

В українській системі цивільного захисту центральне місце займає Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС). Вона відповідає за координацію роботи підрозділів ДСНС, встановлює нормативи часу реагування на виклики та організовує навчання особового складу. Ці функції мають не лише організаційний, а й стратегічний характер, адже визначають загальний рівень готовності країни до надзвичайних ситуацій.

На місцевому рівні ключова роль належить органам самоврядування. Вони зобов'язані забезпечувати підрозділи належним фінансуванням, технікою та інфраструктурою – від утримання пожежних депо до закупівлі сучасного обладнання. Тут часто вирішальне значення має співпраця з громадою, адже без підтримки місцевих жителів неможливо швидко наростити спроможність служби.

Важливим доповненням до професійних підрозділів є добровільні пожежно-рятувальні формування. Їх створюють на базі сільських та міських громад, іноді – при великих підприємствах чи громадських організаціях. У невеликих населених пунктах саме вони нерідко стають першими, хто прибуває на місце події, скорочуючи час очікування допомоги, що критично впливає на збереження життя та майна.

Для кращого розуміння різних організаційних підходів узагальнені характеристики моделей створення пожежно-рятувальних структур у світі наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння організаційних моделей створення пожежно-рятувальних структур

Країна / регіон	Тип моделі	Рівень децентралізації	Частка добровольчих формувань	Основні особливості
ЄС (Німеччина, Франція)	Інтегрована служба	Середній	30...50%	Єдиний координаційний центр, участь громад у плануванні
США	Децентралізована	Високий	~67%	Локальна автономія, взаємодія з FEMA
Канада	Комбінована	Середній	~70%	Добровольці у малих громадах, державне фінансування обладнання
Країни Балтії	Комбінована	Середній	50...60%	Розвиток мобільних підрозділів, міжнародна кооперація
Україна	Централізовано-доповнена	Низький	~15%	Провідна роль ДСНС, розвиток добровольчих формувань у громадах

Таким чином, теоретичні підходи та нормативна база формують основу для подальшого розвитку пожежно-рятувальних структур в Україні, зокрема у післявоєнний період, коли важливо забезпечити баланс між централізованим управлінням і гнучкістю локальних ініціатив. Вивчення міжнародного досвіду дозволяє інтегрувати у вітчизняну систему ефективні організаційні рішення, що підвищують стійкість громад до надзвичайних ситуацій.

Ще до початку 2022 року в Україні вже існувала розгалужена мережа пожежно-рятувальних підрозділів. Сюди входили як великі пожежно-рятувальні частини в обласних центрах, так і маленькі пости у громадах. За статистикою ДСНС [7], таких підрозділів по країні було понад 1,5 тисячі. Загальна кількість особового складу сягала 60 тис. осіб. Це не тільки пожежники, які безпосередньо виїжджають на виклики, а й офіцери, диспетчери, водії спеціалізованих автомобілів.

Штатна укомплектованість у середньому становила близько 85...90%. Проте в сільських громадах, де кожен додатковий рятувальник на вагу золота, відчувався брак фахівців. З технікою ситуація виглядала по-різному. У містах часто підрозділи укомплектовані сучасними пожежно-рятувальними машинами, а в сільських регіонах – старі радянські моделі, які вже пережили кілька капітальних ремонтів. Загалом в автопарку нараховувалося близько 3,5 тисяч машин, і понад третина з них була у використанні більше 20 років.

Ця різниця особливо помітна під час виїздів. Якщо в місті рятувальники прибувають на місце надзвичайної ситуації за кілька хвилин і вони мають все необхідне обладнання, то у віддалених селах дорога займає вдвічі більше часу, а набір інструментів є обмежений. На рисунку 1.1 наведено приклад такого порівняння, де видно не лише технічний стан машин, а й показники реагування та оснащеності пожежно-рятувальних структур.

Регіональні відмінності у розвитку пожежно-рятувальної інфраструктури пов'язані не лише з рівнем фінансування, а й з географічними та демографічними особливостями. У густонаселених районах підрозділи розташовані на відстані 5...10 км один від одного. Тоді як у гірських або степових регіонах ця відстань

може сягати 30...40 км, що безпосередньо впливає на час реагування і, як наслідок, на масштаби збитків.

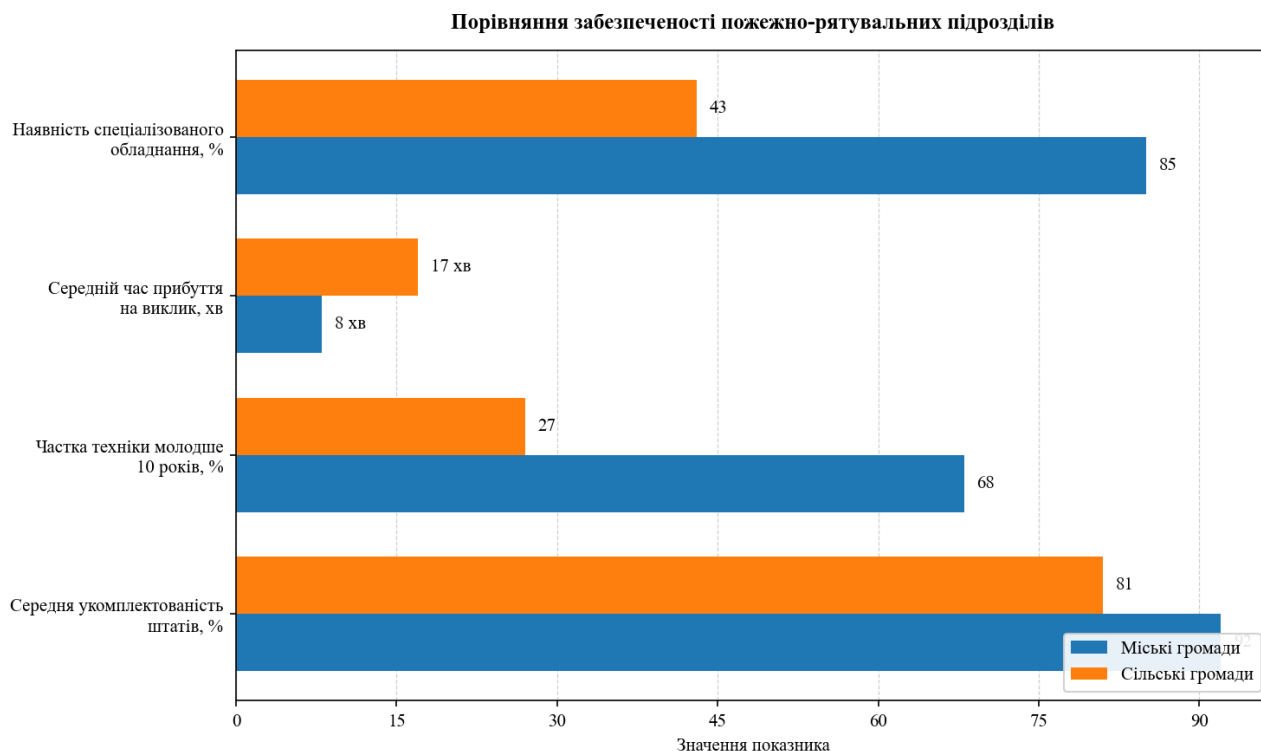


Рисунок 1.1 – Гістограма забезпеченості пожежно-рятувальних підрозділів міських та сільських громад (побудовано за даними ДСНС України)

Ще до початку повномасштабної війни у 2022 році ДСНС України стикалася з низкою проблем. Серед них, недостатнє фінансування для оновлення техніки, відсутність сучасних систем зв'язку та навігації, обмежені можливості для підвищення кваліфікації персоналу. Дефіцит добровольців у сільській місцевості залишався серйозним викликом. У деяких громадах працює лише один професійний екіпаж, а решта потреби покриваюся з числа тимчасово залучених місцевих жителів.

Сукупність цих чинників сформувала ситуацію, в якій пожежно-рятувальна інфраструктура була функціонально спроможною. Однак вона вразлива до різкого зростання навантаження. Воєнні дії лише загострили існуючі дисбаланси. Особливо це стосується регіонів, де частина підрозділів знищена або переміщена.

1.2. Вплив війни на реалізацію проєктів створення пожежно-рятувальних структур

Повномасштабна війна різко змінила умови для будь-яких проєктів з розвитку пожежно-рятувальної інфраструктури. Частина підрозділів ДСНС України, техніки та зв'язку була знищена або пошкоджена. Зросла тривалість реагування на надзвичайні ситуації. Спостерігаються кадрові втрати, які поєдналися з внутрішньою та зовнішньою міграцією населення регіонів, що перебувають поблизу, або у зоні бойових дій.

Гуманітарні потреби й атаки на цивільну інфраструктуру тривають. Це зумовлює роботу рятувальників у постійному піковому режимі. Самі рятувальні операції часто проходять під загрозою повторних ударів. У 2023 році гуманітарні організації фіксували сотні інцидентів, що впливали на роботу рятувальників, включно з загибеллю працівників. Це прямо впливає на обсяги фінансування та розподіл бюджетів між проєктами створення пожежно-рятувальних структур, які залежать від логістичних і безпечних умов діяльності новостворених підрозділів [155].

Певне «вікно можливостей» створило приєднання України до Європейського механізму цивільного захисту (UCPM) у 2023 році. Це спростило доступ до взаємодопомоги, навчань і стандартизованих процедур, включно з постачанням техніки та мобільних потужностей. Для проєктів створення пожежно-рятувальних структур це значне покращення ресурсного забезпечення, менше транзакційних витрат на координацію та більшу сумісність обладнання [76].

Для планування проєктів створення пожежно-рятувальних структур важливо вводити спрощені оцінки затримок і ризиків. Нехай базова тривалість реалізації проєкту створення пожежно-рятувальних структур (без воєнних впливів) – T_0 . Тоді очікувана тривалість реалізації проєкту створення пожежно-рятувальних структур із урахуванням воєнних чинників оцінюється як:

$$\mathbb{E}[T] = T_0 + \alpha D + \beta L + \gamma S, \quad (1.1)$$

де D – індекс пошкоджень матеріальної бази (частка депо/техніки, що втрачена або потребує відновлення); L – логістичні обмеження (часові вікна, маршрути, перешкоди); S – дефіцит фахівців (вакансії, відтік); α, β, γ – емпіричні коефіцієнти, що встановлюються на основі регіональних даних (RDNA/місцеві обстеження).

Оцінки для D та L базуються на RDNA і щоквартальних звітах про пошкодження інфраструктури, що публікує KSE Institute [97].

Агрегований ризик невиконання етапу проєкту (проєктний або операційний) визначається:

$$R = P \times I, \quad (1.2)$$

де P – ймовірність дестабілізуючої події (удар по енергетиці/дорозі/складу); I – вплив у днях затримки або у відсотках від кошторису.

Значення P можна прив'язувати до інтенсивності атак і сезонних ризиків (зимові удари по енергетиці – це прямі затримки логістики, імовірність нових переміщень населення) [97].

Операційна доступність пожежно-рятувальних підрозділів у воєнних умовах визначається:

$$A = 1 - \frac{t_{\text{downtime}}}{t_{\text{time}}}, \quad (1.3)$$

де t_{downtime} – тривалість відключення енергоживлення, ремонт техніки після обстрілів, дефіцит пального тощо.

Гуманітарні огляди ООН допомагають покроково оцінювати ці «провали доступності» по регіонах та сезонах [156].

Вплив проєктного середовища на реалізацію проєктів створення пожежно-рятувальних структур впродовж окремих етапів їх життєвого циклу, представлено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вплив проєктного середовища на реалізацію проєктів створення пожежно-рятувальних структур впродовж окремих етапів їх життєвого циклу та типовий ефект

Стадія	Основні післявоєнні чинники	Ефект на проєкт
Ідентифікація та ТЕО	Невизначеність щодо безпеки території; руйнування транспортних мереж	Недооцінка кошторисів, потреба в резервних сценаріях ($\pm 20 \dots 30\%$ до CAPEX за RDNA-коридорами) [117]
Проектування	Перебої енергопостачання, доступ до майданчиків	Більше натурних візитів «вікнами», довші погодження, потреба в мобільних рішеннях (модульні ДЕПО) [134]
Закупівлі	Розриви ланцюгів постачання, митно-логістичні ризики	Премії за терміновість/страхування, перехід на каталоги UCPM/стандарти ЄС [73]
Реалізація	Ризик атак, дефіцит кадрів / палива або інших ресурсів	Зростання $\mathbb{E}[T]$, фазування пускових комплексів, тимчасові мобільні пости [157]
Експлуатація	Пікові гуманітарні навантаження, удари по енергетиці	Зниження доступності A , зсув пріоритетів у бік критичних районів [40]

Схема, яка представлена на рисунку 1.2, відображає сценарний підхід до реалізації проєктів створення пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Вона враховує вплив зовнішніх чинників проєктного середовища та організаційно-фінансові умови [97]. Усі сценарії розпочинаються з моменту T_0 ,

що відображає старт робіт у проєкті. Далі проєкт може реалізовуватися за трьома сценаріями залежно від ризику та доступності ресурсів.

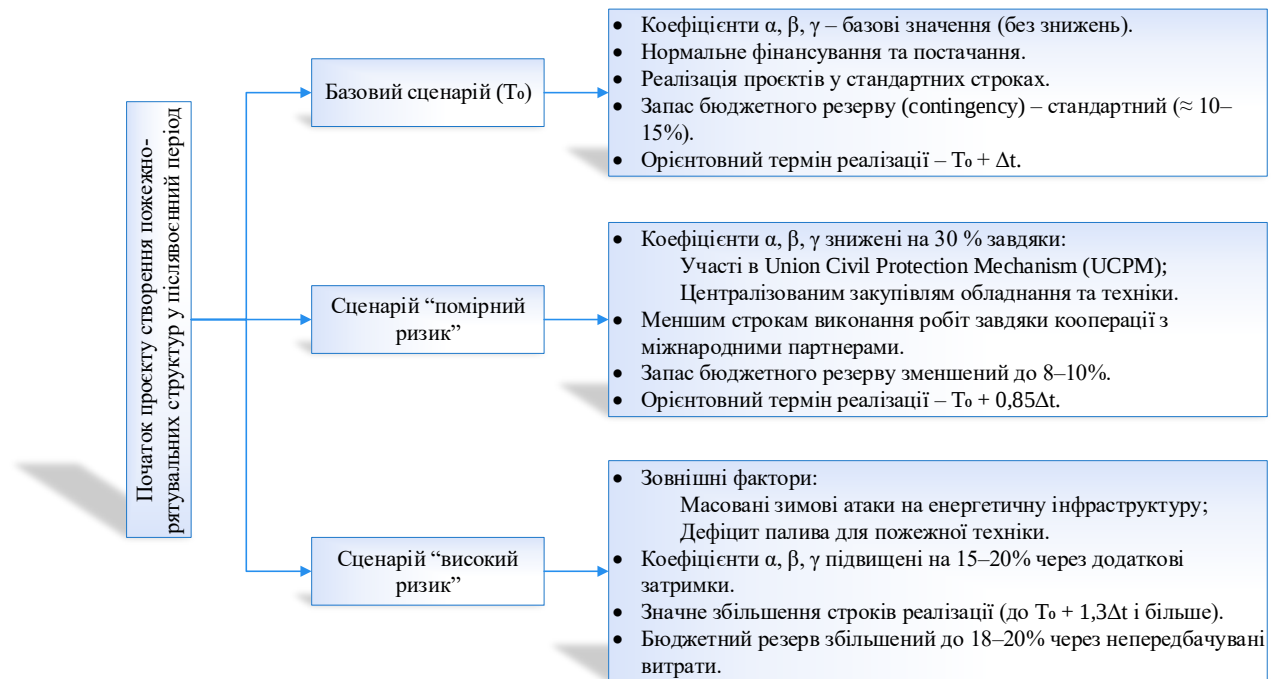


Рисунок 1.2 – Схема сценаріїв реалізації проєктів створення пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

Базовий сценарій передбачає умови стабільного фінансування та постачання ресурсів. При цьому усі основні коефіцієнти ефективності α, β, γ зберігають свої прогнозовані значення [3]. У таких умовах передбачається дотримання планових строків виконання робіт у проєкті. Резерв бюджету знаходиться на рівні 10...15%. У цьому випадку реалізація проєкту створення пожежно-рятувальних структур завершується у середньостроковій перспективі. Тобто, характерне значення $T_0 + \Delta t$, без суттєвих змін у термінах.

Сценарій помірної ризику враховує позитивний вплив міжнародної кооперації. Зокрема, участь у Union Civil Protection Mechanism (UCPM) та централізовані закупівлі обладнання [4]. Це дозволяє зменшити значення α, β, γ на 30 %. Скоротити терміни реалізації проєктів до $T_0 + 0,85\Delta t$. Знизити

резервний фонд до 8...10 %. Такий підхід передбачає ефективніше використання ресурсів. Однак, зростають ризики, що впливають на виконання робіт у проєкті.

Сценарій із високим ризиком враховує зовнішні чинники проєктного середовища. Вони ускладнюють виконання робіт у проєкті. Сюди належать пошкоджені транспортна та енергетична інфраструктура, спостерігаються перебої у постачанні ресурсів. Окрім того, є дефіцит палива для пожежно-рятувальної техніки [5]. У таких умовах коефіцієнти α, β, γ збільшуються на 15...20%, що спричиняє затримки у виконанні завдань. Орієнтовні строки реалізації можуть зрости до $T_0 + 1,3\Delta t$ та більше. Резерв бюджету зростає до 18...20% для покриття непередбачуваних витрат.

Війна суттєво змінила умови реалізації проєктів створення пожежно-рятувальних структур. Це зумовило потребу перегляду традиційних підходів до управління цими проєктами. Як зазначають автори окремих наукових праць [16; 35; 36], існують окремі науково-прикладні задачі щодо якісного управління проєктами в умовах кризових ситуацій. Вони охоплюють питання планування, координації ресурсів та зниження впливу непередбачуваних чинників проєктного середовища. У сфері безпеки об'єктів і територій [11] особливу увагу приділяють управлінню часом та визначенню критичних шляхів виконання робіт [12]. Це є основою для реалізації гібридних проєктів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Однак, більшість підходів залишаються орієнтовані на стабільне проєктне середовище. Вони не враховують множинні причинно-наслідкові зв'язки, які виникають під час воєнних дій.

Дослідження щодо прогнозування тривалості проєктів [125] у основному передбачають використання статистичних методів, експертних оцінок та імовірнісних моделей. Вони забезпечують певний рівень точності. Однак, у випадку створення пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, вони втрачають ефективність через високий рівень невизначеності. На тривалість реалізації проєктів впливають не лише технічні та організаційні чинники, а й зовнішні загрози. До них належать руйнування транспортної інфраструктури,

перебої з постачанням пального, сезонні ризики, результати атак на енергетичні об'єкти тощо.

Наукові праці з управління проєктами в умовах невизначеності [2; 19; 58] підкреслюють важливість гнучкості проєктних планів та здатності швидко адаптувати ресурси. Однак існуючі інструменти управління ризиками [58; 137] не враховують ситуації, коли одночасно потрібно вирішувати завдання відновлення зруйнованої інфраструктури та підтримки безперервної роботи вже діючих пожежно-рятувальних формувань.

Окремий напрям досліджень стосується впровадження сучасних технологій [150; 40]. До них належить використання штучного інтелекту та нейронних мереж у процесах управління проєктами. Результати цих робіт підтверджують потенціал автоматизованих систем управління проєктами. Вони підвищують точність планування проєктів [150]. Однак, для сфери тайм-менеджменту проєктів створення пожежно-рятувальних структур таких рішень немає. У той же час досвід використання нейромережевих моделей у прогнозуванні складових інших типів проєктів [71], вказує на доцільність їх адаптації до специфіки пожежно-рятувальних структур.

У всьому світі безпека територій та безпека населення є першочерговими завданнями [137]. Регіони окремих країн, де відбуваються військові дії, потребують особливої уваги з точки зору створення безпеки. Наразі це дуже актуально для України. На звільнених від окупантів територіях, виникають надзвичайні ситуації, пов'язані зі знешкодженням зброї та засобів масового ураження. У післявоєнний період виникають вторинні фактори впливу на населення (виникнення пожеж, руйнування будівель і споруд, викид небезпечних речовин тощо). Проте на територіях, де відбуваються бойові дії, порушуються системні взаємозв'язки між складовими безпеки як окремих громад, так і населення, що проживає на цих територіях. Часто після військових дій частково або повністю знищуються рятувальні формування, які забезпечують безпеку окремих територіальних громад. Також існують загрози для населення громад через мінування.

Таким чином, у післявоєнний період є множина викликів для реалізації проєктів створення пожежно-рятувальних структур. Вони зумовлюють доцільність розробки моделей та методів управління цими проєктами. Новий інструментарій має враховувати просторово-часові обмеження, ризики, зумовлені мінливим проєктним середовищем. Окрім того, має передбачати сценарне планування проєктів створення пожежно-рятувальних структур для забезпечення їх ефективності.

1.3. Аналіз стану оцінки цінності проєктів розвитку систем безпеки

Реалізація проєктів розвитку систем безпеки базується на ціннісних засадах. У післявоєнний період для окремих територій характерною буде наявність вибухонебезпечних предметів. Це значною мірою впливає на створення цінності для населення громад. Вона стосується забезпечення безпечного життя та діяльності людей на цих територіях. Проєкти та їх портфелі, які забезпечують розвиток систем безпеки, мають примножувати таку цінність завдяки ефективному управлінню ними [120; 146; 163; 158; 103].

Все вище сказане свідчить про потребу створення територіальних рятувальних структур на ціннісно орієнтованих засадах. Відомі окремі наукові праці [60; 115; 138; 93; 137; 87], автори яких пропонують реалізовувати проєкти, в основу яких має бути покладений ціннісний підхід. Ефективна реалізація проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур потребує розробки інформаційних систем підтримки прийняття рішень. Вони забезпечать управління цими проєктами на основі нових підходів та з урахуванням специфіки проєктного середовища.

Залишається невирішеною науково-прикладна проблема, яка стосується розробки моделей та інформаційних систем формування цінності від реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур. Вирішення

такої проблеми потребує виконання досліджень та розробки відповідних моделей та підходів [109; 139].

Наукові дослідження у сфері управління проєктами, спрямовані на забезпечення безпеки територій та населення, демонструють значну різноманітність підходів і практичних рішень. Частина авторів розробили методи оцінювання ефективності й визначення цінності систем безпеки, що функціонують на різних рівнях – від міжнародних механізмів співпраці до локальних ініціатив окремих громад [95; 131; 61; 57; 98; 136; 92; 102].

Таблиця 1.3 – Складові цінності у проєктах створення пожежно-рятувальних структур

Складова цінності	Опис складових	Основні стейкхолдери
Економічна	Ефективність використання бюджету, скорочення витрат на ліквідацію наслідків, зменшення збитків від пожеж та НС	Державні та місцеві органи влади, донори
Соціальна	Підвищення рівня безпеки населення, скорочення часу реагування на НС, доступність населення до послуг	Населення громад, волонтерські організації
Технічна	Оснащеність формувань сучасним обладнанням, готовність до оперативного розгортання, надійність інфраструктури	Пожежно-рятувальні підрозділи, служби НС
Екологічна	Зменшення негативного впливу пожеж на довкілля, відновлення природних екосистем	Екологічні організації, громади
Інституційна	Узгодженість нормативно-правової бази, розвиток партнерських мереж, підвищення компетенцій персоналу	Органи влади, освітні установи, міжнародні організації

У цих роботах розглядаються як теоретичні основи, так і інструменти, здатні підтримувати ухвалення управлінських рішень щодо впровадження та розвитку проєктів безпекового призначення [54; 104; 144; 122; 112; 90; 65; 53]. Деякі підходи поєднують кількісні методи з експертним аналізом, інші – ґрунтуються на адаптивних моделях, що враховують особливості регіонального середовища та динаміку змін у післявоєнний період.

На підставі аналізу вище означених робіт нами означено складові цінності у проєктах створення пожежно-рятувальних структур (табл. 1.3).

Ціннісне поле проєкту розвитку систем безпеки – це комплексно сформована та взаємопов’язана система множин ціннісних орієнтирів, яка забезпечує синергетичний ефект і розвивається відповідно до стратегічних цілей безпекової системи на всіх її рівнях [29]. Таке поле ґрунтується на базових цінностях, що мають ієрархічну структуру (пірамідальну модель) та трансформуються у ціннісно-орієнтовані стратегії для кожного рівня управління, включаючи цінності окремих компонентів системи безпеки (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Схема формування ціннісного поля на основі його базових цінностей [29]

На нього одночасно впливають як зовнішнє середовище (геополітична ситуація, економічні виклики, міжнародна підтримка), так і внутрішні фактори (ресурсне забезпечення, рівень організації, компетентність персоналу) [143].

Складові цінності проєктів формуються на основі адаптованого методу збалансованих показників «5E+2A+I» [29]. У межах цього підходу оцінюється ефективність (Efficiency), економічність (Economy), екологічність (Ecology), етичність (Ethics) і енергоощадність (Energy saving), а також адаптивність (Adaptability), антикризовість (Anticrisis potential) та інноваційність (Innovation). Інтегральна цінність проєкту визначається як узагальнена характеристика, що відображає ступінь відповідності системи безпеки потребам населення та вимогам стратегічного розвитку регіону.

Результати аналізу ціннісного поля дозволяють не лише визначити пріоритети у формуванні конфігурацій безпекових систем, але й оцінити баланс між матеріальними та нематеріальними складовими, виявити потенційні зони конфліктів інтересів між зацікавленими сторонами. Це є основою для подальшої кількісної оцінки цінності та прийняття управлінських рішень щодо оптимізації ресурсів і підвищення стійкості систем безпеки в умовах післявоєнної відбудови.

Окремі дослідження у сфері проєктного менеджменту присвячені розробці ціннісно-орієнтованих підходів та створених на їх основі інструментів, які дають змогу керувати конфігурацією систем розвитку територій [67; 81; 140; 135; 72]. Такі підходи дозволяють вибудовувати баланс між стратегічними цілями та наявними ресурсами, враховуючи потреби зацікавлених сторін. Проте у випадку проєктів зі створення та розвитку територіальних пожежно-рятувальних формувань післявоєнного періоду їх застосування в повному обсязі є обмеженим. Це пояснюється тим, що наявні методики розроблялися переважно для мирного часу й не враховують специфіки післявоєнного середовища, де ключову роль відіграють фактори швидкої мобілізації ресурсів, міжмуніципальної взаємодії та адаптації до нестабільних умов.

Додатковою проблемою є відсутність детального опису процесів формування системної цінності таких проєктів у наявних працях. Існуючі моделі

не враховують багаторівневої взаємодії між матеріальними, соціальними та інституційними складовими безпекової системи, що особливо важливо для територіальних структур, які діють в умовах обмеженого фінансування та високих ризиків. У результаті виникає потреба у створенні нових моделей та методів оцінки цінності, адаптованих до умов повоєнної відбудови. Вони мають забезпечити не лише обґрунтування конфігурації таких систем, а й визначити оптимальні механізми їх розвитку з урахуванням специфіки проєктного середовища.

Окремі дослідження у сфері проєктного менеджменту присвячені розробці ціннісно-орієнтованих підходів та створених на їх основі інструментів. Вони дають змогу управляти конфігурацією проєктів розвитку територій [67; 81; 140; 135; 72]. Такі підходи дозволяють вибудовувати баланс між стратегічними цілями та наявними ресурсами, враховуючи потреби зацікавлених сторін. Використання їх у повному обсязі під час реалізації проєктів розвитку територіальних пожежно-рятувальних формувань післявоєнного періоду є обмеженим. Це пояснюється тим, що вони розроблялися переважно для мирного часу й не враховують специфіки післявоєнного проєктного середовища.

Аналіз сучасних підходів до управління проєктами розвитку систем безпеки територій і населення вказує на потребу їх удосконалення. Незважаючи на значну кількість публікацій з оцінювання ефективності таких проєктів, задачі визначення їх комплексної цінності досі не розв'язані. Більшість існуючих інструментів орієнтовані переважно на технічні параметри чи організаційні механізми управління проєктами. Водночас, не розглядалася взаємодія матеріальних, соціальних та інституційних чинників проєктного середовища у післявоєнний період. У післявоєнних умовах саме це набуває особливої актуальності. Створення територіальних пожежно-рятувальних формувань у післявоєнний період відбувається за обмеженого фінансування, високого рівня ризиків та потреби швидкої адаптації до мінливого проєктного середовища.

На даний час зростає потреба в розробці нових моделей та відповідного інструментарію, що враховуватимуть специфіку проєктного середовища у

післявоєнний період. Такі моделі забезпечують не лише якісне відображення особливостей функціонування систем безпеки в умовах нестабільності, а й створюють передумови для об'єктивного визначення цінності для окремих зацікавлених сторін. Це, у свою чергу, дасть можливість здійснювати кількісну оцінку цінності проєктів. Вона стане основою для обґрунтування оптимальної конфігурації та структури територіальних пожежно-рятувальних формувань. Вони забезпечать ефективну ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій у післявоєнний період.

1.4. Аналіз сучасних підходів до управління проєктами у сфері безпеки

Управління проєктами забезпечення безпеки територій та громад є складним процесом. Він включає координацію ресурсів, узгодження інтересів стейкхолдерів та моніторинг виконання завдань [111; 89; 153]. Ефективне управління такими проєктами потребує використання сучасних інструментів і методик. Такий інструментарій забезпечує адаптацію до мінливого проєктного середовища. У цьому напрямі ми провели аналіз сучасних підходів до управління проєктами у сфері безпеки (рис. 1.4).

Представлений рисунок 1.4 дозволяє структурувати основні підходи до управління проєктами сфері безпеки. Окрім того, він відображає основні обмеження для підвищення ефективності в умовах розвитку територіальних систем безпеки.

Процесно-орієнтований підхід до управління проєктами передбачає впорядкування процесів та створення чітких регламентів для їх виконання. Щодо безпеки, то це стосується формування послідовних етапів реалізації проєктів. Як зазначають автори [51; 152], успішне застосування такого підходу можливе лише за умов стандартизації процедур і використання сучасних інформаційних систем для управління проєктами. Однією з переваг цього підходу є його здатність

забезпечити прозорість і контроль над виконанням проєктів. Зокрема, стандартизація управлінських процесів дозволяє зменшити ймовірність помилок під час прийняття управлінських рішень щодо реалізації проєктів.



Рисунок 1.4 – Сучасні підходи до управління проєктами та їх недоліки щодо використання під час розвитку територіальних систем безпеки

У сучасних умовах управління проєктами у сфері безпеки неможливе без урахування інтересів стейкхолдерів. Стейкхолдер-орієнтований підхід акцентує увагу на ідентифікації ключових зацікавлених сторін та врахуванні їхніх потреб

на всіх етапах проєкту. Науковці у свої працях [123; 106; 70] відзначають, що такий підхід дозволяє знизити конфлікти між стейкхолдерами, а також сприяє більш ефективному залученню фінансових та організаційних ресурсів. Застосування цього підходу у сфері безпеки включає механізми участі громадськості у прийнятті рішень, використання зворотного зв'язку від населення та адаптацію проєктів до реальних потреб регіону.

Мультикритеріальний підхід ґрунтується на використанні системи критеріїв для оцінки ефективності проєктів. У сфері безпеки це може бути рівень зниження ризиків, економічна вигода, покращення соціальних умов тощо. Згідно з дослідженнями [108; 100; 78], такий підхід дозволяє об'єктивно оцінювати доцільність і пріоритетність проєктів, особливо у випадках обмежених ресурсів.

Використання мультикритеріального аналізу дає можливість забезпечити баланс між короткостроковими та довгостроковими цілями, а також узгодити економічні, соціальні й екологічні аспекти проєктів.

Сценарний підхід є одним із найбільш перспективних у сфері безпеки, оскільки дозволяє враховувати динаміку зовнішнього середовища та невизначеність. Як зазначено в роботі [84; 68; 80], цей підхід включає розробку альтернативних сценаріїв розвитку подій та моделювання реакції системи безпеки на ці сценарії. Наприклад, моделювання наслідків природних катастроф або техногенних аварій дозволяє вчасно ідентифікувати слабкі місця у системі безпеки та підготувати ефективні заходи реагування. Сценарний підхід також забезпечує гнучкість управління, дозволяючи адаптувати проєкти до змін у зовнішньому середовищі без значного зниження їхньої ефективності.

Заслуговує на увагу інноваційно-орієнтований підхід, який займають важливу роль у сучасному управлінні проєктами у сфері безпеки. Впровадження нових технологій, таких як штучний інтелект, великих даних та Інтернет-речей, покращує якість прогнозування ризиків і координації дій. Як підкреслюють автори [149], інновації можуть значно підвищити ефективність реагування на надзвичайній системі використання процесів автоматизації та використання інтелектуальних систем моніторингу.

Проведений аналіз показує, що сучасні підходи до управління проєктами у сфері безпеки базуються на процесах інтеграції, технологій та інтересів стейкхолдерів. Кожен із підходів має свої переваги та обмеження, і їх ефективність відрізняється від конкретних умов реалізації проєктів. На практиці управління проєктами використовують комбінації різних підходів, що дозволяють забезпечити комплексний підхід до вирішення завдань безпеки. Однак щодо управління проєктами у сфері безпеки, то слід використовувати системно-ціннісний підхід, який потребує обґрунтування структури цінностей від реалізації зазначених проєктів та основні предмети узгодження інтересів їх стейкхолдерів.

1.5. Планування розташування пожежно-рятувальних підрозділів

У період відбудови пошкоджених територій громад, що настане після завершення активних воєнних дій в Україні, особливої актуальності набуде напрям оперативного формування оновленої системи безпекової інфраструктури [84; 141; 10]. Одним із основних управлінських завдань, яке потребує наукового обґрунтування, є планування проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур. Для ефективного планування зазначених проєктів слід виконувати процес визначення раціонального розміщення пожежно-рятувальних підрозділів. Йдеться не лише про відновлення зруйнованих об'єктів, а про зміну їхнього розташування з урахуванням зміненої просторової структури об'єктів, наявних ризиків, соціальної географії та їх доступності для пожежно-рятувальних підрозділів.

У мінливому проєктному середовищі, де швидкість реагування пожежно-рятувальних структур на надзвичайні події напряму впливає на масштаб їх наслідків. При цьому, ефективність конфігурації таких структур є визначальною. Водночас, через пошкодження об'єктів інфраструктури внаслідок бойових дій, ускладнений стан дорожньої мережі, фрагментарна доступність критичної

інфраструктури, обмеженість матеріальних ресурсів та існує потреба у доцільному використанні наявного потенціалу, що потребує не просто відтворення попередньої безпекової системи, а її ціннісно обґрунтованої нової оптимізації [40; 25; 107; 43].

У більшості випадків планування розміщення пожежно-рятувальних підрозділів ґрунтувалося на застарілих методичних підходах, які не враховували ті зміни, що відбулися у стані територій після воєнних дій [161; 150; 147; 130]. Часто ігноруються реальні умови доступу, пошкодження транспортних маршрутів або зміщення точок підвищеного ризику. У результаті, створені пожежно-рятувальні структури є недостатньо ефективними або навіть недієздатними у кризових ситуаціях. Тим часом розвиток геоінформаційних технологій відкрив зовсім інший рівень можливостей для просторового аналізу: ми отримали інструменти, які дозволяють враховувати взаємозв'язані чинники, швидко перевіряти сценарії та ухвалювати рішення на основі реальних даних, а не припущень.

У такому випадку одним із пріоритетних науково-прикладних завдань є розроблення підходу, що базується на принципах ціннісно-гібридного управління проектами. Йдеться про потребу створення методу, який дозволить оптимізувати розташування пожежно-рятувальних формувань із залученням можливостей геоінформаційного моделювання. Такий підхід дає змогу забезпечити обґрунтованість управлінських рішень, забезпечити цільове та ефективне використання обмежених ресурсів, скоротити час реагування, а також зменшити вразливість об'єктів критичної інфраструктури під час надзвичайних ситуацій. Такий підхід та на його основі розроблений метод, є основою для прийняття ефективних управлінських рішень щодо створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період.

У контексті ціннісно-гібридного управління проектами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, завдання їхнього оптимального розміщення розглядається як ключовий фактор впливу на результативність управлінських рішень у сфері безпеки [83; 164; 69].

Забезпечення своєчасного реагування на надзвичайні ситуації виступає не лише технічним завданням, а й складовою ефективності реалізації проєктів, у межах яких формується конфігурація їх кінцевого продукту – системи територіально розміщених пожежно-рятувальних формувань [162]. Саме в таких умовах актуалізується потреба у використанні інструментів просторового аналізу та оптимізаційного моделювання, що дозволяють обґрунтувати конфігурацію з урахуванням множинності чинників проєктного середовища – просторової доступності, демографічного розподілу населення, реального стану транспортної інфраструктури, рівня загроз.

Автори сучасних наукових праць [128; 159] приділяють цьому напряму дедалі більше уваги. Вони зосереджуються не тільки на технічних алгоритмах, а й на управлінських підходах до прийняття рішень, де кожен варіант розташування пожежно-рятувальних підрозділів розглядається як сценарій реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур з відповідною оцінкою цінності для стейкхолдерів. Такий підхід дозволяє не просто забезпечити функціонування пожежно-рятувальних підрозділів, а й досягати стратегічної мети – підвищення ефективності управління зазначеними проєктами в умовах обмежених ресурсів та складного проєктного середовища.

Окремий напрям сучасних досліджень з управління проєктами зосереджується на застосуванні геоінформаційних систем як основного інструменту підтримки управлінських рішень у сфері безпеки [110; 56; 52]. Завдяки широкому функціоналу ГІС-технологій стає можливим інтегрувати просторові дані з картами ризиків, моделями транспортної доступності, даними про наявні ресурси та стан інфраструктури. Це створює основу для комплексного планування проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. При цьому здійснюється формування конфігурації продуктів проєктів із визначенням ефективного розташування пожежно-рятувальних формувань на території конкретної громади або адміністративного району. Зазначені дослідження підкреслюють значущість не лише точності

початкових вхідних даних, а й адаптивності безпекових рішень до змін проєктного середовища, що є важливим під час післявоєнної відбудови.

За ціннісно-гібридного управління проєктами безпекового спрямування особливе значення має використання геоінформаційних систем як засобу підтримки управлінських рішень у процесі створення територіальних пожежно-рятувальних структур [110; 56; 52]. Завдяки можливостям ГІС, проєктні менеджери отримують інструмент, що дозволяє не лише візуалізувати просторову картину, а й поєднувати карти ризиків, моделі транспортної доступності, структуру наявних ресурсів та стан інфраструктури в єдине аналітичне середовище. Такий функціонал є особливо цінним у післявоєнний період, коли управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур відбувається в умовах невизначеності, фрагментарності даних та обмежених можливостей реалізації.

Дослідження в цьому напрямі підтверджують, що базовими чинниками ефективності управління проєктами є не лише точність вихідної інформації, а й адаптивність обраної моделі до змін проєктного середовища. У ситуації, коли значна частина дорожньої мережі зруйнована, об'єкти критичної інфраструктури втратили функціональність, а ризики стали багатовекторними, традиційні підходи, засновані на статистичних даних про пожежі та щільність населення, не дають належного результату. У таких умовах управлінське завдання визначення ефективної конфігурації продукту проєкту, тобто територіальних пожежно-рятувальних структур, потребує якісно нових управлінських інструментів.

Інтеграція геоаналітики, оптимізаційних алгоритмів та методів машинного навчання у процес планування дозволяє автоматизувати частину управлінського процесу, що особливо актуально при роботі з великими територіями та множиною варіантів розміщення пожежно-рятувальних структур. Це не лише підвищує обґрунтованість прийнятих управлінських рішень, а й забезпечує прозорість, відтворюваність і стратегічну ефективність управління проєктами відновлення безпекової інфраструктури. У результаті формується конфігурація продукту, яка відповідає не лише технічним, а й ціннісним критеріям, з

урахуванням потреб громад, логістичних обмежень та рівня ризиків у конкретному проєктному середовищі.

1.6. Аналіз наукових праць прогнозування тривалості реалізації проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

У світі виникнення надзвичайних ситуацій, таких як стихійні лиха, техногенні аварії чи інші події, що загрожують життю та добробуту людей, потребують негайної та скоординованої реалізації проєкти з ліквідації їх наслідків [84]. Однак, за відсутності прогнозування тривалості дій у зазначених проєктах в умовах невизначеності та обмеженості ресурсів, управління проєктами з ліквідації наслідків надзвичайних подій значно ускладнюється.

Для підвищення ефективності реалізації проєктів з ліквідації надзвичайних ситуацій та точності прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності все більше уваги приділяється застосуванню методів штучного інтелекту [132; 62; 160]. Нейромережеві моделі є одними з найпотужніших інструментів для вирішення управлінських задач. Вони досить успішно застосовуються в багатьох сферах людської діяльності і використовуються для вирішення завдань прогнозування та класифікації. Саме цей інструментарій забезпечує виявлення складних залежностей у даних, що характеризують мінливе середовище проєкту.

Вирішенню управлінських задач якісного управління проєктами присвячено багато наукових праць [66; 94; 55; 119; 142; 127; 129]. Окремі автори цих праць займалися питаннями управління проєктами безпеки об'єктів та територій [151; 152]. Серед них деякі автори вказують на актуальність управління часом в проєктах [16]. Окрім того, пропонують використовувати традиційні методи для реалізації процесів управління часом в проєктах з ліквідації надзвичайних ситуацій [43]. Зокрема, у відомих роботах автори пропонують нові підходи та методи планування, розподілу ресурсів, визначення критичного шляху з урахуванням часових обмежень. Однак більшість з них не

враховують множинні причинно-наслідкові зв'язки між факторами, що визначають тривалість окремих робіт у проєктах.

Відомі також окремі дослідження, спрямовані на прогнозування тривалості проєктів [58]. Вони є важливими для процесів планування і базуються на використанні статистичних методів, методів експертних оцінок, імовірнісних моделей тощо. Однак, коли йдеться про прогнозування тривалості проєктів з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, вони не враховують специфіку цих проєктів.

Заслужують на увагу наукові праці, пов'язані з прогнозуванням процесів управління в умовах невизначеності [137]. Вони є важливою складовою для проведення проєктного аналізу. Відомі також роботи [150], які включають інструменти управління ризиками та адаптації планів проєктів. Однак запропонований у цих роботах інструментарій не може бути використаний для управління часом у проєктах з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, оскільки не враховує специфіку цих проєктів.

В окремих наукових працях [142] автори досліджують вплив сучасних технологій, таких як штучний інтелект та нейронні мережі, на ефективність процесів управління проєктами. Зокрема, вони описують результати досліджень впливу автоматизованих систем на точність та ефективність процесів управління. Однак, що стосується використання штучного інтелекту та нейромережевих моделей для реалізації процесів тайм-менеджменту в проєктах з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, то такі роботи відсутні.

Слід також зазначити, що науковці досліджують використання нейромережевих моделей у прогнозуванні складових проєктів різних предметних галузей [88]. Вони підтверджують бажану точність виконаних прогнозів, що визначає доцільність використання нейромережевих моделей для прогнозування тривалості реалізації проєктів реагування на надзвичайні ситуації.

При цьому залишається невирішеною науково-прикладна задача прогнозування тривалості реалізації проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

на основі методів обчислювального інтелекту. З-поміж них добре себе зарекомендували нейромережевої моделі, які здатні описувати складні взаємозв'язки між складовими проєктного середовища проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Отже, виникає потреба у дослідженні можливості використання та обґрунтування параметрів нейромережевої моделі для прогнозування тривалості проєктів з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Для слід врахувати можливість використання різних архітектур нейромережевих моделей, способів підготовки та обробки вхідних даних, а також застосування відомих метод оцінки точності прогнозів. Така нейромережева модель прогнозування тривалості проєктів з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій є основою для розробки інтелектуальної інформаційної системи управління зазначеними проєктами. Вона забезпечить підвищення точності управлінських рішень щодо реалізації проєктів і, відповідно, сприятиме їх ефективності, збереженню людських життів та майна, а також зменшенню негативних наслідків у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Висновки до 1 розділу

1. На основі аналізу сучасного стану створення пожежно-рятувальних структур встановлено окремі особливості. Зокрема те, що війна вносить корективи до їх створення, яке відбувається у складних і мінливих умовах. Ресурси обмежені, а вимоги до швидкості створення та ефективності зростають. При цьому слід застосовувати ціннісно-гібридний підхід до управління проєктами створення пожежно-рятувальних структур. Він поєднує стратегічне бачення розвитку, врахування вимог зацікавлених сторін та адаптацію до змін післявоєнного проєктного середовища.

2. Виконаний аналіз впливу війни на реалізацію проєктів створення пожежно-рятувальних структур дав можливість виявити окремі особливості.

Встановлено, що війна змінила підхід до створення пожежно-рятувальних структур. Ускладнилося постачання спецтехніки, скоротилися ресурси, зросла кількість надзвичайних ситуацій пов'язаних із воєнними діями та потреба в швидкому реагуванні на них. У післявоєнний період слід використовувати інший підхід до створення пожежно-рятувальних структур. Він повинен забезпечувати гнучкість у прийнятті управлінських рішень та враховувати інтереси усіх зацікавлених сторін.

3. Визначення цінності проєктів у безпековій сфері сьогодні виглядає доволі розрізнено. Часто науковці за основу беруть витрати й технічні параметри, а інші наслідки складові цінності, зокрема соціальні чи організаційні, не враховуються. У післявоєнний період громади потребують більшої гнучкості та комплексного бачення стосовно створення цінності. Тут виникає потреба у підходах до визначення цінності, які поєднують урахування матеріальних вигод з аналізом нематеріальних ефектів, що їх забезпечує створення пожежно-рятувальних структур.

4. Аналіз наявних підходів до управління безпековими проєктами показав, що найбільш ефективними є ті, що поєднують різні методики, від процесної логіки до моделювання сценаріїв та оцінення інтересів зацікавлених сторін. Для громад у післявоєнний час наявні інструменти доводиться підлаштовувати під постійні зміни й невизначеність загроз. Жоден із них не забезпечує повного врахування специфічних складових проєктного середовища. Для ефективної реалізації проєктів у сфері безпеки потрібна структурна модель системи управління цими проєктами у післявоєнний період.

5. На підставі проведеного аналізу стану питання в науці та практиці встановлено, що існуючі підходи до планування територіального розташування пожежно-рятувальних структур зазвичай базуються на статистичних даних про пожежі та на демографічних особливостях конкретних територій. У післявоєнний період ці підходи стають неефективними через зміну видів ризиків, невизначеність результатів бойових дій та часткове або повне руйнування інфраструктури, що зумовлює потребу вирішення управлінської науково-

прикладної задачі оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів у післявоєнний період на основі сучасних методів, таких як геоаналітика, алгоритми оптимізації та машинного навчання.

6. На основі проведеного аналізу досліджень встановлено, що традиційні підходи до прогнозування тривалості реалізації проєктів з ліквідації надзвичайних ситуацій, які ґрунтуються переважно на статистичних методах та класичних моделях планування, мають обмежену ефективність у складних і мінливих умовах. Підвищена динамічність та багатофакторність проєктного середовища, притаманна післявоєнному періоду, потребує застосування нейромережових моделей, здатних виявляти приховані взаємозв'язки між параметрами та підвищувати точність прогнозів.

Розділ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТВОРЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ СТРУКТУР У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД

2.1. Теоретико-термінологічні засади управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

У період післявоєнного відновлення територій України виникне нагальна потреба у реалізації множини проєктів, які охоплюють різні сфери життєдіяльності населення громад. Особливе місце серед них займатимуть проєкти, спрямовані на безпеку населення громад та захист їхніх матеріальних ресурсів. В умовах обмеженого доступу до ресурсів, підвищеного рівня загроз та швидкоплинності подій, характерних для динамічного проєктного середовища, ефективне управління такими проєктами потребує системного підходу.

У дисертації розроблено інструментарій для управління проєктами створення нових або реконструкції наявних пожежно-рятувальних формувань, відновлення транспортної інфраструктури, а також реалізацію гібридних проєктів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Саме розгляд такої триєдиної структури проєктів потребує не лише системної координації між ними, а й формування єдиного концептуального підходу до управління.

Дисертаційне дослідження присвячене розробленню теоретичних засад, моделей та методів для ефективного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур із системним узгодженням реалізації проєктів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний період та створених умов для реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій. Це є основою для ефективного відновлення громад, забезпечення безпеки населення громад та їхніх матеріальних цінностей. Такий підхід дозволяє не лише забезпечити ефективну реалізацію безпекових проєктів,

а й створити умови для оперативного реагування на нові виклики під час відбудови. У результаті пропонується багаторівнева структура управління, у межах якої вагомими управлінськими процесами є узгодження обмежених ресурсів, системне просторове та часово-логістичне планування. Це є основою для комплексного підходу до відбудови громад у післявоєнний період і посилення їхньої безпеки.

Розглянемо основні поняття, які формують термінологічне поле дослідження. У роботі розглядається три типи взаємопов'язаних проєктів. Перший з них – це проєкт створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Він передбачає ініціацію, планування, реалізацію та завершення створення або реорганізації пожежно-рятувальних підрозділів. При цьому враховується специфіка територій громад, рівень пошкоджень та ризиків, стан інфраструктури та потреби населення. Продукти цих проєктів тісно пов'язані з безпековою компонентою громад і формують критичний сегмент інфраструктурної мережі регіону.

Другу групу проєктів, що розглядаються в межах дослідження, становлять проєкти відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний період. Хоча такі проєкти переважно мають логістичне спрямування, їх значення виходить далеко за рамки безпекової сфери територій у післявоєнний період. Їх реалізація стосується забезпечення фізичної доступності до віддалених населених пунктів, окремих об'єктів або районів, де базуються або мають діяти пожежно-рятувальні формування.

Реалізація таких проєктів створює умови для повноцінного функціонування пожежно-рятувальної інфраструктури. Без відновлених шляхів, мостів та транспортних розв'язок навіть добре оснащене формування не зможе вчасно дістатися до місця надзвичайної події. Реалізація проєктів відновлення транспортної інфраструктури є інтегрованим ресурсним базисом, без якого пожежно-рятувальні формування втрачають оперативність і ефективність.

Продукти проєктів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний період, незалежно від їхнього прямого призначення, виконують

функцію мультиплікатора. Вони посилюють спроможність пожежно-рятувальних структур виконувати свої завдання, роблячи їх мобільними, гнучкими та адаптованими до просторових умов конкретної громади.

До третьої групи належать гібридні проекти ліквідації надзвичайних ситуацій. Вони забезпечують поєднання як інженерно-технічних, так і організаційно-управлінських складових, спрямованих на локалізацію та усунення наслідків надзвичайних ситуацій. Ці проекти, як правило, мають динамічне проєктне середовище і реалізуються в умовах невизначеності. Їх ефективність значною мірою залежить від продуктів проєктів першої та другої групи.

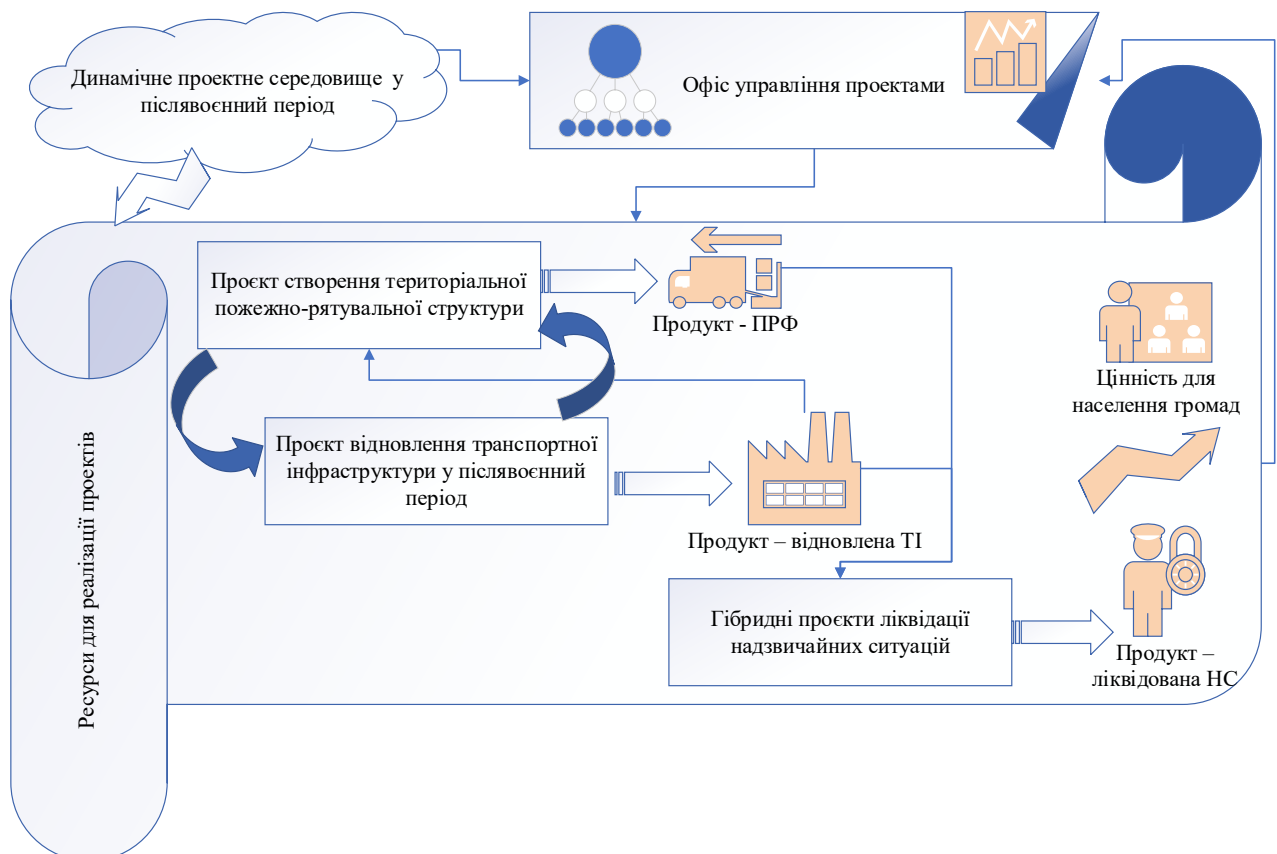


Рисунок 2.1 – Схема системного взаємозв'язку між складовими проєктів відновлення безпекової складової громад у післявоєнний період

На рисунку 2.1 представлено схему системного взаємозв'язку між складовими вищезазначених трьох типів проєктів. Вони формують інтегроване

проектне середовище післявоєнного відновлення безпеки територій громад, де координуються ресурси, дії та приймаються управлінські рішення щодо реалізації зазначених проєктів для отримання максимальної їх цінності.

Кожен із зазначених типів проєктів має свої особливості та структуру продуктів (табл. 2.1), які визначають дії щодо їх реалізації.

Особливістю управління означеними проєктами (табл. 2.1) є те, що узгодження управлінських рішень повинно здійснюватися централізовано – через єдиний офіс управління проєктами, який координує реалізацію взаємопов’язаних видів проєктів. Такий підхід дозволяє зменшити ризики неузгодженості дій, уникнути конфлікту інтересів щодо використання спільних ресурсів, а також оперативно адаптувати проєктні рішення до нестабільного післявоєнного проєктного середовища.

Математично узгодження процесів управління зазначеними проєктами можна подати у вигляді системи рівнянь ресурсно-цільового балансу. Вони забезпечують досягнення бажаної системної цінності та цілей кожного типу проєкту за обмежених ресурсів, уникаючи їх перевитрат із врахуванням динамічного проєктного середовища післявоєнного періоду відновлення громад. Формально це можна записати таким чином:

знайти:

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i=1,\dots,m, \quad j=1,2,3; \quad (2.1)$$

максимізувати:

$$V_c = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^m V_{ij} \cdot x_{ij}; \quad (2.2)$$

за умов:

$$\sum_{i=1}^m R_{ij} \cdot x_{ij} \leq B_j, \quad \forall j=1,2,3, \quad (2.3)$$

Таблиця 2.1 – Характеристика складових проєктів відновлення безпекової складової громад у післявоєнний період

Назва проєкту	Означення складових проєктів			
	Проектне середовище	Проект	Продукт проєкту	Особливості управління проєктом
Проект створення територіальних пожежно-рятувальних структур	Громади з підвищеним рівнем загроз, обмеженими ресурсами, відсутністю або ж пошкодженими ПРФ	Множина дій, спрямованих на створення нових або відновлення існуючих ПРФ на рівні територіальних громад	Функціонуюче ПРФ із зоною оперативного покриття, забезпечене ресурсами й персоналом	Управлінські процеси, методи та моделі управління проєктами, які інтегровані з процесами проєктів відновлення транспортної інфраструктури, залежать від демографічних і просторових даних громад.
Проект відновлення транспортної інфраструктури	Території з пошкодженими шляхами сполучення, обмеженим транспортним доступом до об'єктів громад	Множина дій, спрямованих на відновлення об'єктів транспортної інфраструктури (реконструкція доріг, мостів, транспортних розв'язок тощо)	Відновлена транспортна інфраструктура з можливістю безперешкодного доступу до основних об'єктів громади	Управлінські процеси, методи та моделі управління проєктами відновлення транспортної інфраструктури, які залежать від виду, стану об'єктів та узгоджуються із потребами ПРФ
Гібридний проєкт ліквідації надзвичайних ситуацій	Зони громад з високим ризиком втрат життя та майна населення громад, у тому числі з інфраструктурними ушкодженнями	Множина дій, спрямованих на ліквідацію наслідків НС з одночасним реагуванням і стабілізацією ситуації	Ліквідовані НС, створення безпеки для населення громад та зниження втрат матеріальних ресурсів, стабілізація діяльності об'єктів критичної інфраструктури	Управлінські процеси, методи та моделі управління гібридними проєктами ліквідації надзвичайних ситуацій, що базуються на гнучкому управлінні, швидкому прийнятті рішень у нестабільному проєктному середовищі із мультиагентною взаємодією із службами забезпечення безпеки

де x_{ij} – двійкова змінна, яка дорівнює 1, якщо реалізується i -й етап у j -му проєкті; V_{ij} – очікувана цінність (вигоди) результату від реалізації i -го етапу у j -му проєкті; R_{ij} – обсяг ресурсів, потрібних для реалізації i -го етапу у j -му проєкті; B_j – загальний ресурсний ліміт для j -х проєктів; m – кількість можливих етапів у кожному проєкті; $j=1$ – проєкт створення територіальних пожежно-рятувальних структур; $j=2$ – проєкт відновлення транспортної інфраструктури; $j=3$ – гібридний проєкт ліквідації надзвичайних ситуацій.

Під час системного управління проєктами відновлення безпекової складової громад у післявоєнний період слід визначити оптимальну множину етапів у межах кожного типу проєктів. Це забезпечить створення максимальної сукупної системної цінності V_c . При цьому слід не перевищувати допустимий обсяг обмежених ресурсів для виконання кожного етапу проєкту. Цей підхід враховує нестабільне післявоєнне проєктне середовище, що дозволяє динамічно перерозподіляти ресурси між пріоритетними етапами кожного із проєктів та забезпечувати ефективне досягнення цілей безпеки населення громад під час післявоєнного відновлення громад.

2.2. Архітектура дисертаційного дослідження

Архітектура дисертаційного дослідження побудована у відповідності до логіки трансформації потреб безпеки в післявоєнний період через проєктно-орієнтований підхід. Вона включає розв’язання шести головних завдань, що забезпечують підвищення ефективності управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Узагальнену схему архітектури дисертаційного дослідження наведено на рис. 2.2.

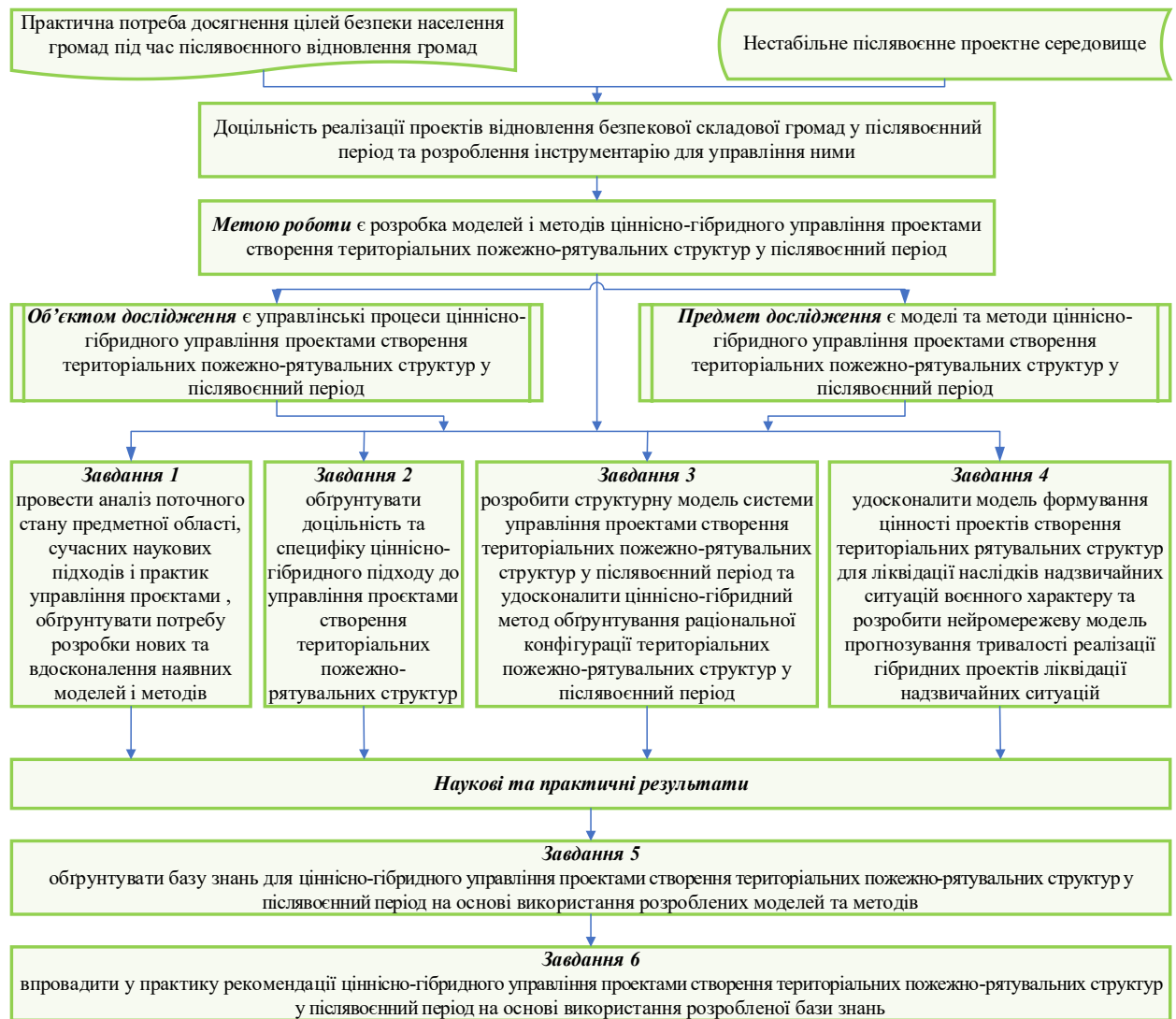


Рисунок 2.2 – Узагальнена архітектура дисертаційного дослідження

Така структуризація дисертаційного дослідження дозволяє реалізувати поетапну логіку розробки, апробації та вдосконалення запропонованих моделей і методів, забезпечуючи відтворюваність і масштабованість результатів. Архітектура ґрунтується на принципах системного аналізу, використанні відкритих геоінформаційних даних, алгоритмічному моделюванні та цифровізації управлінських рішень.

Таким чином, теоретичні засади управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період потребують інтеграції трьох типів взаємопов'язаних проєктів у єдине адаптивне проєктне середовище. Архітектура дисертаційного дослідження, сформована на

основі ціннісно-гібридного підходу до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур, дозволяє обґрунтувати моделі та методи, що забезпечують отримання системних управлінських рішень для ефективного управління проєктами відновлення безпекової складової громад у післявоєнний період.

2.3. Ціннісно-гібридний підхід до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

Після війни багато українських громад опиняться в ситуації, коли забезпечення базової безпеки стане не менш складним завданням, ніж відновлення будинків чи доріг. Частина пожежно-рятувальних формувань уже не існує, оскільки вони були зруйновані, розформовані, втратили спроможність діяти. Деякі села залишилися відрізнаними від безпекової допомоги через знищені мости чи пошкоджені автошляхи. Усе це свідчить про доцільність змін у територіальних пожежно-рятувальних структурах, які неспроможні функціонувати так, як до початку бойових дій.

Проблема ускладнюється ще й тим, що ресурси окремих регіонів та громад у післявоєнний період як фінансові, так і організаційні, також обмежені. Далеко не кожна громада зможе утримувати пожежно-рятувальне формування лише тому, що вона була на території району чи громади раніше. При цьому залишити людей без мінімального рівня захисту теж неможливо. Виникає потреба у реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. При цьому є невирішеною управлінська науково-прикладна задача, яка стосується обґрунтування ефективного підходу до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Розв'язання цієї задачі є основою успішного управління зазначеними проєктами.

Для ефективної реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період пропонується використовувати ціннісно-гібридний підхід до управління ними. У межах ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період досить важливим є формування адаптивного підходу до оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів у післявоєнний період. Управлінська практика вказує на те, що обґрунтування конфігурації продукту таких проєктів (територіальних пожежно-рятувальних структур) має базуватися на оцінці не лише ресурсної доцільності, а й реальної цінності для громад, яка виражається у здатності швидко реагувати на локальні ризики та мінімізувати наслідки надзвичайних ситуацій.

В основі запропонованого підходу лежить поняття цінності продукту проєкту для громади, що формалізується через коефіцієнт узагальненої цінності V_i для i -ї громади:

$$V_i = \alpha \cdot A_i + \beta \cdot R_i + \gamma \cdot S_i, \quad (2.4)$$

де A_i – оцінка доступності території i -ї громади до наявних пожежно-рятувальних формувань; R_i – рівень ризиків виникнення надзвичайних ситуацій у межах території i -ї громади; S_i – соціальна вразливість населення i -ї громади; α, β, γ – вагові коефіцієнти (визначаються експертно або емпірично), що відображають пріоритети стейкхолдерів.

Запропонований підхід враховує не лише логістику та ресурсні обмеження на території громад. Він також забезпечує оцінку цінності для населення громад. Це дозволяє обґрунтовувати управлінські рішення з урахуванням як економічних, так і гуманітарних складових проєктного середовища.

Таблиця 2.2 – Основні елементи ціннісно-гібридного підходу до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

Компоненти підходу	Характеристика
Об'єкт оптимізації продукту проєкту	Конфігурація розташування пожежно-рятувальних формувань
Критерій ефективності	Максимізація цінності V_i для сукупності громад на заданій адміністративній території
Обмеження	Ресурсні, часові, просторові, нормативні
Метод управлінської інтеграції	Централізоване управління із проєктного офісу з локальними зворотними зв'язками
Адаптивність	Здатність реагувати на зміни динамічного проєктного середовища та ризику
Гібридизація	Поєднання методів оцінювання цінності, кластеризації, логістики та моделювання

Зазначений ціннісно-гібридний підхід до управління проєктами забезпечує формування адаптивної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур на території громад у післявоєнний період із врахуванням показників ризиків, потреб доступу до об'єктів та соціальної чутливості. Таким чином, замість жорстко детермінованих схем, що домінували в існуючих підходах, у запропонованому підході реалізується гнучке управління, яке дозволяє швидко адаптувати рішення до змін у динамічному проєктному середовищі.

Незважаючи на наявність теоретичних моделей у сфері логістики та просторового планування, більшість із них не враховують характерних викликів під час управління проєктами в умовах післявоєнного проєктного середовища. Післявоєнні території відзначаються високим рівнем невизначеності. Зокрема, зруйнована дорожня інфраструктура, зміщення центрів життєдіяльності громад, нові загрози, пов'язані з залишками від бойових дій. За таких умов традиційні

підходи, побудовані на сталих логістичних маршрутах та доступній інфраструктурі, є неефективними.

Одним із викликів у реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період залишається відсутність інтегрованих моделей, здатних гнучко оцінювати змінну доступність населених пунктів для рятувальних структур у динамічному проєктному середовищі. Система управління проєктами безпекової інфраструктури стикається з необхідністю урахування часових обмежень, пошкоджень дорожньої мережі, виведених з експлуатації мостів та інших критичних елементів транспортної логістики. У наявних моделях транспортні зв'язки найчастіше відображено як сталу, незмінну структуру, що унеможливорює їх ефективне використання в умовах післявоєнної трансформації територій громад. Це знижує якість управлінських рішень і актуалізує потребу в застосуванні динамічних моделей, здатних оновлювати просторову інформацію в режимі реального часу.

Під час обґрунтування ціннісно-орієнтованої конфігурації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період основною проблемою є інформаційна невизначеність. Вона полягає, передусім, у недостатній точності або відсутності актуалізованих даних про реальний стан проєктного середовища (склад населених пунктів, чисельність постійного населення, характер внутрішньої міграції, а також динаміку потенційних загроз тощо). Особливо це стосується сільських громад, які після активних бойових дій зазнали значного розселення, демографічних змін або часткової інфраструктурної деградації.

Неможливість повноцінного обліку цих складових проєктного середовища під час планування проєктів, призводить до спотворення оцінки цінності продукту проєкту. Тобто, це призводить до обґрунтування конфігурації пожежно-рятувального формування, яке створює ризики неефективного використання ресурсів. Ціннісно-гібридне управління проєктами передбачає впровадження інструментів збору, валідації та просторової інтеграції даних, здатних сформувати обґрунтовану основу для прийняття управлінських рішень.

Для ціннісно-гібридної оцінки безпекових потреб громад слід створювати геоаналітичні модулі в межах системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Він забезпечить інтеграцію багатоджерельних даних із відкритих платформ у рамках ціннісно-гібридного підходу. Схематично, компоненти геоаналітичного забезпечення ціннісно-гібридного управління проєктами показані на рис. 2.3.

Таблиця 2.3 – Джерела даних для ціннісно-гібридної оцінки безпекових потреб громад

Джерело інформації	Тип даних	Використання
Супутниковий моніторинг	Просторові зміни забудови, руйнування	Визначення фактичної забудованості, виявлення наслідків бойових дій
OpenStreetMap	Інфраструктура, дороги, об'єкти критичної важливості	Створення геоінформаційних моделей доступності
Краудсорсингові платформи	Локальні звіти, фото, користувацькі мітки	Отримання даних про стан об'єктів у громадах
Муніципальні реєстри	Реєстрація населення, облік переміщених осіб	Оцінка реального навантаження на систему безпеки

Попри високий потенціал зазначених інструментів, на практиці інтеграція таких джерел даних у державні або муніципальні системи управління безпекою залишається низькою. Спостерігається відсутність стандартизованих протоколів обміну інформацією, фрагментарність підходів до валідації даних та низька доступність фахових ГІС-кадрів. Усе це уповільнює цифрову трансформацію управління безпековими проєктами на місцях.

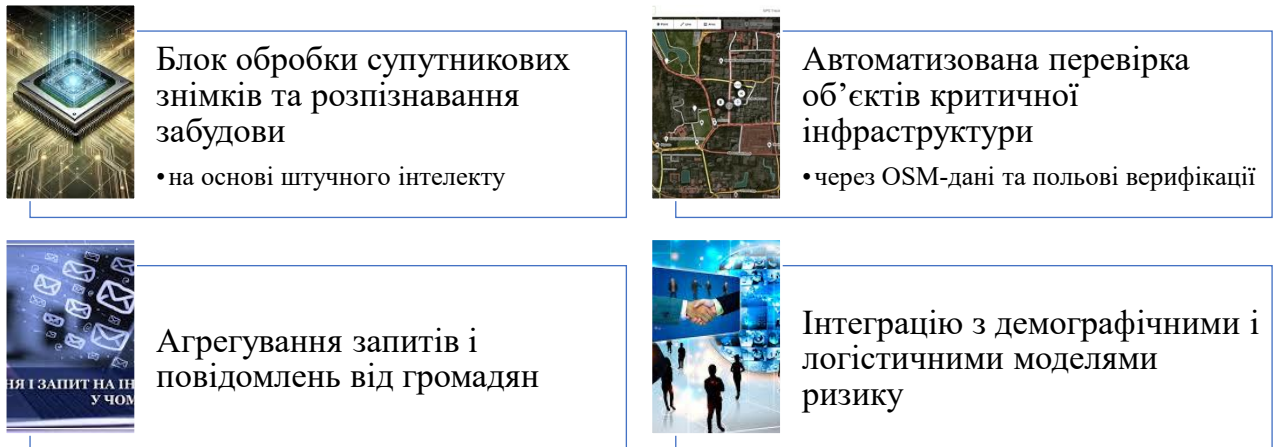


Рисунок 2.3 – Компоненти геоаналітичного забезпечення ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

Впровадження сучасних геоаналітичних інструментів у поєднанні з ціннісно-орієнтованою логікою дозволить суттєво підвищити обґрунтованість управлінських рішень, забезпечити адаптивність реагування на зміни проєктного середовища та точно відображати реальні потреби громад у безпековій інфраструктурі.

Ціннісно-гібридний підхід до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період базується на використанні сучасних геоінформаційних систем. Це дозволяє підвищити ефективність прийняття управлінських рішень. Також дає можливість врахувати геодинамічну змінність, стан транспортної доступності, локальні загрози, соціально-демографічні показники та ступінь зруйнованості об'єктів на заданій території. У запропонованому підході передбачено поєднання сучасних геоінформаційних технологій, алгоритмів просторового аналізу та актуальних даних заданої території. Це дає можливість врахувати динамічне проєктне середовище у післявоєнний період.

Запропонований підхід ґрунтується на принципах цінності для зацікавлених сторін та управлінської ефективності реалізації відповідних проєктів. На відміну від традиційних підходів, що здебільшого спираються на

нормативні показники чи адміністративні критерії оцінювання безпекових структур, пропонується підхід враховує реальні умови динамічного проєктного середовища та створення максимальної цінності для стейкхолдерів.

Ціннісно-гібридний підхід передбачає систему багатofакторної адаптації, в якій кожна громада оцінюється за індивідуальним профілем ризику, просторового обмеження та потреб у безпеці (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Порівняння традиційного та ціннісно-гібридного підходів до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

Критерій оцінювання	Традиційний підхід	Ціннісно-гібридний підхід
Основна мета	Досягнення запланованої кількості створених об'єктів	Максимізація цінності та безпеки для населення громад і його майна
Орієнтація на ресурс	Переважно наявний фінансовий ліміт	Комбіноване урахування ресурсів, ризиків і потреб
Тип оцінювання	Кількісний (будівництво, витрати)	Якісний (час реагування, зона покриття, соціальна чутливість)
Просторова адаптивність	Обмежена	Висока, з урахуванням інфраструктурної щільності та доступності об'єктів для пожежно-рятувальних формувань
Джерела даних	Статичні нормативи	Динамічні джерела – OSM, супутникові дані, краудсорсинг

Зокрема, громади з низькою щільністю населення, але високою кількістю об'єктів критичної інфраструктури, матимуть більшу вагу під час формування для них пожежно-рятувальних структур, ніж густонаселена, але транспортно доступна громада.

Також враховуються просторові особливості території регіонів та громад, інфраструктурні обмеження, розподіл ризиків і потреби населення громад. Ціннісно-гібридний підхід передбачає оцінювання не кількості зведених об'єктів чи номінальне досягнення цільових показників, а здатність створеного продукту проєкту (мережі пожежно-рятувальних формувань) забезпечити якісне реагування на надзвичайні ситуації в межах окремої території.

Індекс цінності реалізації проєкту для громади на підставі ціннісно-гібридного підходу враховує не лише окремі показники, а й нормалізацію, функцію ризик-чутливості, інфраструктурну доступність та вагові коефіцієнти, адаптовані до типу громади:

$$CVP_i = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_j^{(i)} \cdot \left(\frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \cdot \rho_{ij} \cdot \lambda_j \right)}{\sum_{j=1}^n \omega_j^{(i)}}, \quad (2.5)$$

де CVP_i – інтегральний індекс цінності реалізації проєкту для i -ї громади; X_{ij} – значення j -го показника (наприклад, ризик, вразливість, доступність) для i -ї громади; $\min(X_j), \max(X_j)$ – відповідно мінімальне та максимальне значення j -го показника серед усіх громад (нормалізація); $\rho_{ij} \in [0,1]$ – коефіцієнт ризик-чутливості для i -ї громади щодо j -го показника; λ_j – індекс управлінської важливості j -го показника, встановлюється для стратегічного пріоритету; $\omega_j^{(i)}$ – ваговий коефіцієнт важливості j -го показника саме для i -ї громади, що дозволяє адаптувати до типу населеного пункту (місто, село тощо); n – кількість показників (наприклад: ризик НС, вразливість населення, інфраструктурна

доступність, щільність забудови, кількість потенційно небезпечних об'єктів тощо).

У такий спосіб запропонований підхід не лише узгоджується з ціннісними підходами управління проєктами, а й створює передумови для прийняття точних практичних управлінських рішень. Вони засновані на реальній спроможності сформувати пожежно-рятувальні структури, які задовольняють основні потреби населення громад у безпеці із врахуванням складного післявоєнного проєктного середовища.

Зокрема, прийняття управлінських рішень здійснюється з урахуванням таких складових проєктного середовища, як реальний рівень доступності об'єктів для рятувальників, транспортна доступність у післявоєнний період, просторове розміщення потенційно небезпечних об'єктів, а також очікуваний час прибуття формувань на місце надзвичайної події. Це забезпечує інтеграцію як кількісних, так і якісних характеристик динамічного проєктного середовища в систему управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Отож такий підхід дозволяє переходити від формального планування до ціннісно-гібридного управління реалізацією проєктів.

Оптимізація розташування пожежно-рятувальних підрозділів на основі запропонованого ціннісно-гібридного підходу забезпечує гнучке, ефективне та адаптивне визначення їх територіального розташування. Це сприяє мінімізації часу реагування на повідомлення щодо надзвичайних подій. Для цього проводиться аналіз дорожньої мережі із врахуванням пошкоджень, а також доступності об'єктів. Забезпечується адаптація до змін проєктного середовища у режимі реального часу завдяки інтеграції з даними OSM. Усе це зазначене дає можливість значно підвищити рівень безпеки населення громад та зменшити збитки від наслідків надзвичайних ситуацій завдяки якісному управлінню проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період.

На основі ціннісно-гібридного підходу до управління проектами створення територіальних пожежно-рятувальних структур розв'язується науково-прикладна задача оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів на заданій адміністративній території у післявоєнний період. Цей підхід передбачає використання географічних інформаційних систем (ГІС) на основі фреймворку OpenStreetMap (OSM). Основою цього підходу є те, що у ньому передбачена можливість врахувати топографію місцевості заданої території, наявні пошкодження інфраструктурних об'єктів (доріг, мостів, будівель тощо). Окрім того, використовується прогнозування ризиків виникнення пожеж і надзвичайних ситуацій. Оптимізація розташування пожежно-рятувальних підрозділів на заданій адміністративній території здійснюється із використанням методів кластеризації зон ризику, аналізу транспортної мережі для визначення доступності до об'єктів та алгоритмів мінімізації часу прибуття пожежно-рятувальних підрозділів на місця надзвичайної події.

Перевагами використання запропонованого ціннісно-гібридного підходу до управління проектами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період є можливість вирішити управлінські завдання, представлені на рисунку 2.4.

Отже, запропонований ціннісно-гібридний підхід до управління проектами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період на відміну від існуючих дає можливість забезпечити:

- 1) створення максимальної цінності для стейкхолдерів від реалізації проєктів у динамічному проєктному середовищі;
- 2) врахування руйнування транспортної інфраструктури (пошкоджені дороги, будівлі, мости) та узгодити першочергові дії у проєктах із станом транспортної інфраструктури;
- 3) врахування наявних ризиків виникнення надзвичайних подій (щільність населення, висока інтенсивність виникнення пожеж, наявність потенційно небезпечних та промислових об'єктів тощо);

4) формування у післявоєнний період територіальних пожежно-рятувальних структур, які здатні мінімізувати час прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до місць виникнення надзвичайних подій;

5) ефективне використання обмежених та доступних ресурсів для реалізації проєктів у кожному адміністративному районі.



Рисунок 2.4 – Управлінські завдання, які розв’язуються на основі ціннісно-гібридного підходу до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

На основі запропонованого ціннісно-гібридного підходу у подальшому буде, розроблено метод обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період із використанням сучасних геоінформаційних систем. Він дасть змогу підвищити ефективність прийняття управлінських рішень, забезпечити раціональне планування ресурсів, мінімізувати час реагування на надзвичайні ситуації та покращити безпеку об’єктів критичної інфраструктури в умовах обмежених ресурсів та динамічного проектного середовища.

2.4. Особливості узгодження конфігурацій проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур із динамічним проєктним середовищем у післявоєнний період

Для ефективної реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період слід розробляти інструментарій, який забезпечить прийняття точних управлінських рішень. Для того щоб повною мірою розкрити процес узгодження конфігурацій проєктів із характеристиками проєктного середовища у післявоєнний період, слід не лише розуміти процеси управління змістом та конфігурацією, а встановити причинно-наслідкові зв'язки між мінливим проєктним середовищем та діями щодо формування продукту проєкту (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Схема процесу узгодження конфігурацій проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур із характеристиками проєктного середовища у післявоєнний період

Вид, зміст та тривалість дій щодо формування продукту проєкту значною мірою залежить від залучених об'єктів конфігурації проєктів та їх характеристик, а також від об'єктів конфігурації проєктного середовища (наявність та стан будівель і територій) та їх характеристик (стан небезпек). При

цьому бажаний стан безпеки на території окремих громад оцінюється цінністю для стейкхолдерів (V_c), яка зумовлюється конфігурацією проєктів (K_{np}) та конфігурацією динамічного проєктного середовища (K_{nc}):

$$V_c = f(K_{np} \Leftrightarrow K_{nc}), \quad (2.6)$$

де V_c – цінність проєкту створення територіальної пожежно-рятувальної структури за прогнозованих характеристик динамічного проєктного середовища у післявоєнний період; K_{np} – конфігурація проєкту створення територіальної пожежно-рятувальної структури; K_{nc} – конфігурація проєктного середовища проєкту створення територіальної пожежно-рятувальної структури.

Об'єкти конфігурації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період включають як множину технічних (O_m), так і організаційних (O_o) складових:

$$K_{np} = f(\{O_m\}, \{O_o\}). \quad (2.7)$$

До технічних (O_m) об'єктів конфігурації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період належать будівлі рятувальних формувань, їхні технічні засоби, обладнання і засоби для діяльності формувань. Зокрема, це можуть бути спеціалізовані автомобілі, спеціальне обладнання для рятувальних операцій, засоби зв'язку тощо.

Організаційні (O_o) об'єкти конфігурації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період представлено на рис. 2.6.

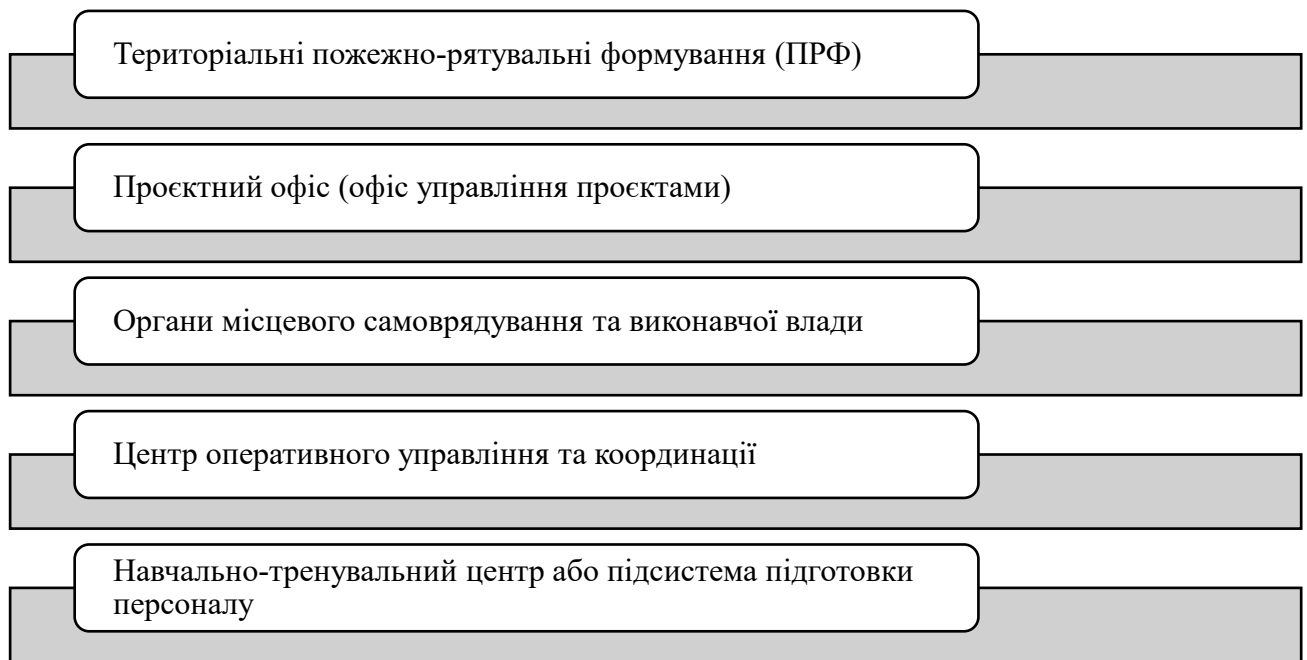


Рисунок 2.6 – Склад організаційних об’єктів конфігурації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

У проєктах створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період базовими є кілька організаційних об’єктів конфігурації, кожен із яких виконує специфічні функції. Основним об’єктом у цій конфігурації є територіальні пожежно-рятувальні формування, які безпосередньо реагують на надзвичайні події. До їхньої структури входять як особовий склад, так і інфраструктура, адаптована до умов конкретного регіону.

Водночас, проєктний офіс виконує функції організаційного ядра. Він не лише відповідає за координацію дій між виконавцями, але й формує стратегію, планує етапи реалізації проєкту та забезпечує контроль за використанням ресурсів. У його компетенції – ухвалення управлінських рішень на основі аналітичних даних та прогнозів.

Суттєву підтримку в процесі реалізації таких ініціатив надають органи місцевого самоврядування, які організовують виділення земельних ділянок, здійснюють погодження будівництва об’єктів територіальних пожежно-рятувальних структур та забезпечують участь громад у прийнятті стратегічно важливих рішень.

Особливе значення має діяльність центрів оперативного управління, які акумулюють інформацію про поточну обстановку, забезпечують логістику оперативного реагування та координують взаємодію з іншими службами – від медичних підрозділів до енергетичних компаній. Завдяки таким центрам забезпечується узгоджена діяльність усіх залучених структур.

Не менш важливою складовою є освітньо-тренувальні підрозділи, що відповідають за підготовку рятувальників до роботи в специфічних умовах. У цих структурах організовуються навчальні збори, моделювання дій у надзвичайних ситуаціях, а також проходять курси з підвищення кваліфікації. Їх діяльність має як професійну, так і просвітницьку спрямованість.

Об'єкти конфігурації проєктного середовища проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур включають як множину об'єктів $\{O_3\}$, так і територій $\{T_3\}$, що потребують захисту:

$$K_{nc} = f(\{O_3\}, \{T_3\}). \quad (2.8)$$

Враховуючи вище описане можна сказати, що цінність для стейкхолдерів (V_c) від реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур залежить від:

$$V_c = f(\{O_m\}, \{O_o\}, \{O_3\}, \{T_3\}). \quad (2.9)$$

Процес узгодження конфігурацій проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур із характеристиками динамічного проєктного середовища у післявоєнний період зводиться до узгодження зазначених складових у формулі (2.9). При цьому можна зазначити, що оптимальна цінність (V_c^{opt}) для стейкхолдерів отримується за її екстремальних значень:

$$\{O_m\} : \{O_o\} \Leftrightarrow (\{O_3\}, \{T_3\}), \quad C_c^{opt} \rightarrow exstr. \quad (2.10)$$

На підставі формули (2.10) можна сказати, що процес узгодження конфігурацій проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур із характеристиками динамічного проєктного середовища у післявоєнний період є якісно виконаним, якщо знайдена відповідність між множиною технічних (O_m) та організаційних (O_o) складових зазначених проєктів і їх параметри визначено із врахуванням стану об'єктів $\{O_3\}$ та територій $\{T_3\}$, що потребують захисту для окремої територіальної громади.

Отже, запропонована схема процесу узгодження конфігурацій проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур із характеристиками динамічного проєктного середовища у післявоєнний період та виконаний опис взаємозв'язків між її складовими, лежить в основі обґрунтування процесів управління конфігурацією зазначених проєктів. При цьому процес управління конфігурацією проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період передбачає врахування як існуючого стану проєктного середовища та об'єктів $\{O_3\}$ і територій $\{T_3\}$, що потребують захисту, так і узгодження із ними множини параметрів технічних (O_m) і організаційних (O_o) складових. Це забезпечить формування бажаного стану територіальних пожежно-рятувальних структур та безпеку громад.

2.5. Обґрунтування складових проєктного середовища гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період

Проєктне середовище гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період формується під впливом множини чинників. Вони мають критично-обмежувальне значення для реалізації цілей таких проєктів. Основні характеристики проєктного середовища гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період представлено на рис. 2.7.

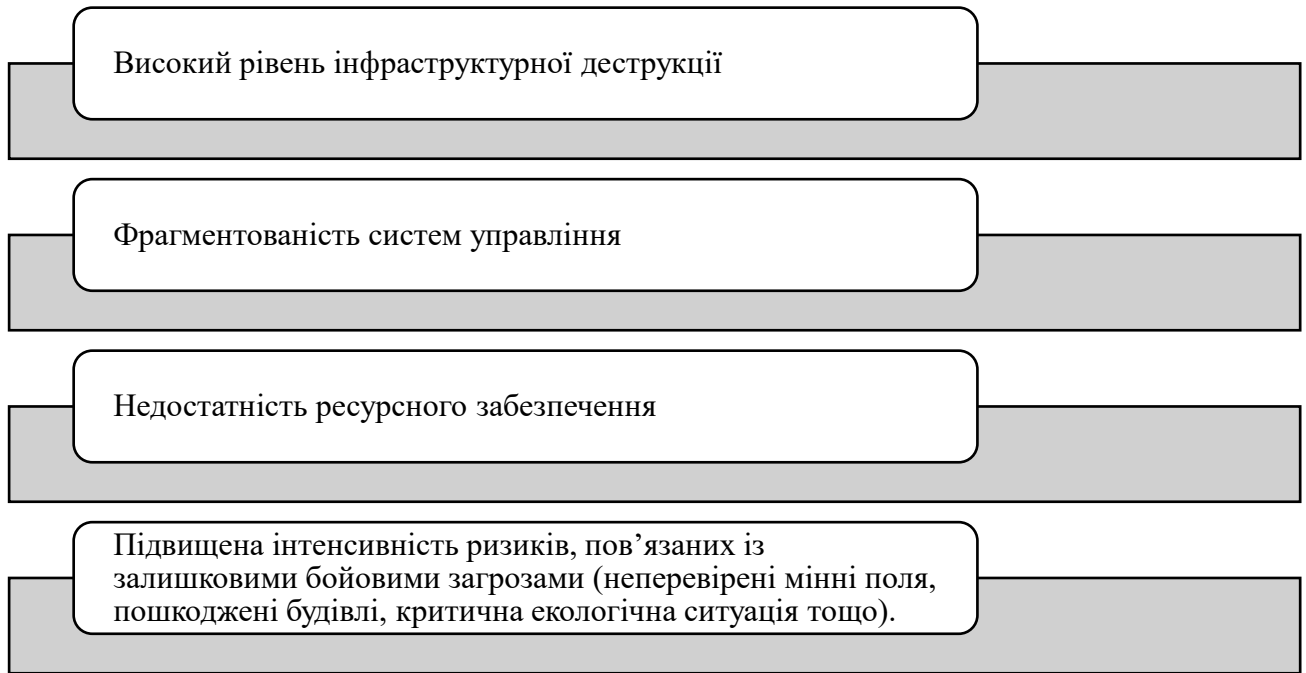


Рисунок 2.7 – Основні характеристики проєктного середовища гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період

Проєктне середовище E_p описується у вигляді багатовимірного вектора:

$$E_p = \{I, R, S, T, D, C\}, \quad (2.11)$$

де I – стан інфраструктури територіальної громади; R – доступність ресурсів для виконання рятувальних робіт; S – рівень соціальної напруги в регіоні; T – доступність транспортної мережі; D – щільність деструктивних зон (зон бойових дій, руйнувань); C – наявність чинників безпосередньої небезпеки (вибухівка, пожежі, токсичні речовини).

У післявоєнному періоді значення I , T , D характеризуються суттєвими відхиленнями від передвоєнного стану. Наприклад, для громад із високою концентрацією бойових дій $I < 0.3$, $T < 0.4$, $D > 0.8$ за шкалою $[0;1]$, це потребує модифікації класичних методів оцінки ефективності проєктів, оскільки часові та ресурсні обмеження не є стабільними.

Гібридні проєкти слід адаптувати до багатофакторного ризикового простору, зумовленого динамічним проєктним середовищем. Відповідний вираз опису ризику у динамічному проєктному середовищі має вигляд інтегрального функціоналу:

$$R = \int_{\Omega} \rho(x, y, t) \cdot \chi(x, y, t) dx dy dt, \quad (2.12)$$

де $\rho(x, y, t)$ – щільність наявності небезпек у заданому просторі та часі; $\chi(x, y, t)$ – функція доступності ресурсів у відповідній громаді; Ω – сукупність усіх просторово-часових координат впливу проєктного середовища на реалізацію гібридних проєктів.

Реалізація гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій передбачає досягнення ціннісно-орієнтованих результатів, де основними їх складовими є:

- чисельність врятованих життів L населення громад;
- обсяг збережених матеріальних цінностей M ;
- зниження ризиків поширення надзвичайних ситуацій у часі $\Delta\tau$;
- відновлення стану важливої інфраструктури для населення громад W .

Комплексна мета реалізації таких проєктів може бути представлена як функція ефективності:

$$\eta = \frac{\alpha_1 \cdot L + \alpha_2 \cdot M + \alpha_3 \cdot W}{\beta_1 \cdot C_t + \beta_2 \cdot R_t + \beta_3 \cdot \tau}, \quad (2.13)$$

де α_i – вагові коефіцієнти значущості результатів; β_j – ваги витратних компонентів; C_t – фінансові витрати; R_t – витрати ресурсів; τ – тривалість реалізації проєкту.

Основні виклики реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період у такому проєктному середовищі відображено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні загрози та обмеження проектного середовища гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період

Складова проектного середовища	Потенційна загроза	Особливість післявоєнного стану
Інфраструктура	Руйнування доріг, мостів	Зниження доступності до об'єктів із надзвичайною подією
Енергопостачання	Перебої, відсутність мереж	Потреба в автономних системах живлення
Комунікації	Відсутність мобільного зв'язку	Затримки у координації рятувальників
Соціальні умови	Психоемоційна нестабільність населення	Підвищене навантаження на рятувальників
Екологічні фактори	Наявність забруднення, витоків	Ускладнення умов реагування на надзвичайні події

У післявоєнних умовах особливої актуальності набуває характеристика просторової доступності, яка визначається як:

$$A(x, y) = \frac{1}{1 + d(x, y)}, \quad (2.14)$$

де $d(x, y)$ – функція часу досяжності до точки (x, y) з місця дислокації аварійно-рятувального підрозділу, з урахуванням пошкодження транспортної інфраструктури.

Таким чином, специфічні складові проєктного середовища гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період формуються на перетині просторово-інфраструктурних, соціальних і технологічних обмежень. Вони повинні бути враховані під час управління реалізацією таких проєктів, зокрема під час вибору місць дислокації підрозділів, моделюванні маршрутів, розрахунку часу реагування та формуванні нормативів ефективності.

Висновки до розділу 2

1. Запропоновано теоретико-термінологічні засади управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Вони передбачають виділення системних взаємозв'язків між проєктами відновлення безпекової складової громад у післявоєнний період. Пропонується системний розгляд триєдиної структури із проєктів створення нових (реконструкції наявних) пожежно-рятувальних формувань, відновлення транспортної інфраструктури та гібридних проєктів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, що потребує не лише системної координації між ними, а й формування єдиного концептуального підходу до управління. Це забезпечує системне узгодження процесів управління зазначеними проєктами, що лежить в основі досягнення бажаної системної цінності та цілей кожного типу проєкту за обмежених ресурсів, уникаючи їх перевитрат із врахуванням динамічного проєктного середовища післявоєнного періоду відновлення громад.

2. Обґрунтована архітектура дисертаційного дослідження, яка побудована відповідно до логіки трансформації потреб безпеки в післявоєнний період через проєктно-орієнтований підхід. Вона включає розв'язання шести головних завдань, що забезпечують підвищення ефективності управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, ґрунтується на принципах системного аналізу,

використанні відкритих геоінформаційних даних, алгоритмічному моделюванні та цифровізації управлінських рішень.

3. Запропоновано ціннісно-гібридний підхід до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, який враховує просторову динаміку проєктного середовища, обмеження ресурсів та змінність стану об'єктів критичної інфраструктури. Цей підхід ґрунтується на принципах управління проєктами в умовах невизначеності, поєднує аналітичні інструменти просторового аналізу з управлінською логікою стратегічного планування, дозволяючи адаптувати рішення до актуального стану територій у післявоєнний період. Це забезпечує узгодження конфігурації проєктів створення пожежно-рятувальних структур із реальними потребами громад та динамічним проєктним середовищем, з урахуванням ризиків, доступності доріг і щільності населення. Ціннісно-гібридний підхід на відміну від існуючих передбачає реалізацію гнучкого управління, яке дозволяє швидко адаптувати рішення до змін у динамічному проєктному середовищі.

4. Виконаний опис причинно-наслідкових зв'язків між динамічним проєктним середовищем та діями щодо формування продукту проєкту забезпечує розкриття процесу узгодження конфігурацій проєктів із характеристиками динамічного проєктного середовища у післявоєнний період. Встановлено, що вид, зміст та тривалість дій щодо формування продукту проєкту створення територіальних пожежно-рятувальних структур значною мірою залежить від залучених об'єктів конфігурації проєктів та їх характеристик, а також від об'єктів конфігурації динамічного проєктного середовища (наявність та стан будівель і територій) та їх характеристик (стан небезпек). Запропоновано бажаний стан безпеки на території окремих громад оцінювати показниками цінності для стейкхолдерів, які зумовлюються конфігурацією проєктів та конфігурацією їх динамічного проєктного середовища.

5. Здійснено обґрунтування складових проєктного середовища гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період, що описано багатовимірним вектором. Проєктне середовище гібридних проєктів

ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період формується під впливом 6 груп чинників, які мають критично-обмежувальне значення для реалізації цілей таких проєктів. Встановлено, що означені специфічні складові проєктного середовища гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у післявоєнний період формуються на перетині просторово-інфраструктурних, соціальних і технологічних обмежень. Їх слід враховувати під час управління реалізацією таких проєктів, зокрема під час вибору місць дислокації підрозділів, моделювання маршрутів, розрахунку часу реагування та формування нормативів ефективності виконання дії у проєктах.

Розділ 3

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТВОРЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ СТРУКТУР У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД

3.1. Структурна модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

У післявоєнний період створення ефективної системи управління інфраструктурними проєктами розвитку громад потребує інтегрованого підходу, що поєднує управління проєктами як створення територіальних пожежно-рятувальних структур, так і відновлення важливих елементів транспортної інфраструктури. Структурна модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, що зображена на рисунку 3.1, відображає взаємодію між основними компонентами зазначених проєктів та їх проєктним середовищем.

Основною підсистемою цієї моделі є офіс управління проєктами. Він здійснює стратегічну координацію двох видів проєктів (створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури) та управлінських процесів, які виконуються у цих проєктах. Для цього використовуються дані та знання із відповідної бази, що забезпечує координаційних взаємозв'язок між усіма підсистемами. Офіс управління зазначеними проєктами приймає управлінські рішення. Вони базуються на підставі багатокритеріального аналізу пріоритетів, врахуванні ресурсних обмежень та логістичної доступності територій, на якій мають у подальшому створюватися пожежно-рятувальні структури.

Умовно структурну модель можна подати у вигляді динамічної системи залежностей між станами її підсистем:

$$S(t) = f(P_{res}(t), T_{cond}(t), A_{net}(t), K(t)), \quad (3.1)$$

де $S(t)$ – стан реалізації проєкту створення територіальної пожежно-рятувальної структури у момент часу t ; $P_{res}(t)$ – ресурсне забезпечення проєкту створення територіальної пожежно-рятувальної структури у момент часу t ; $T_{cond}(t)$ – стан реалізації проєкту відновлення транспортної інфраструктури громади у момент часу t ; $A_{net}(t)$ – доступність аварійно-небезпечних ділянок; $K(t)$ – коефіцієнт узгодженої координації між проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури.

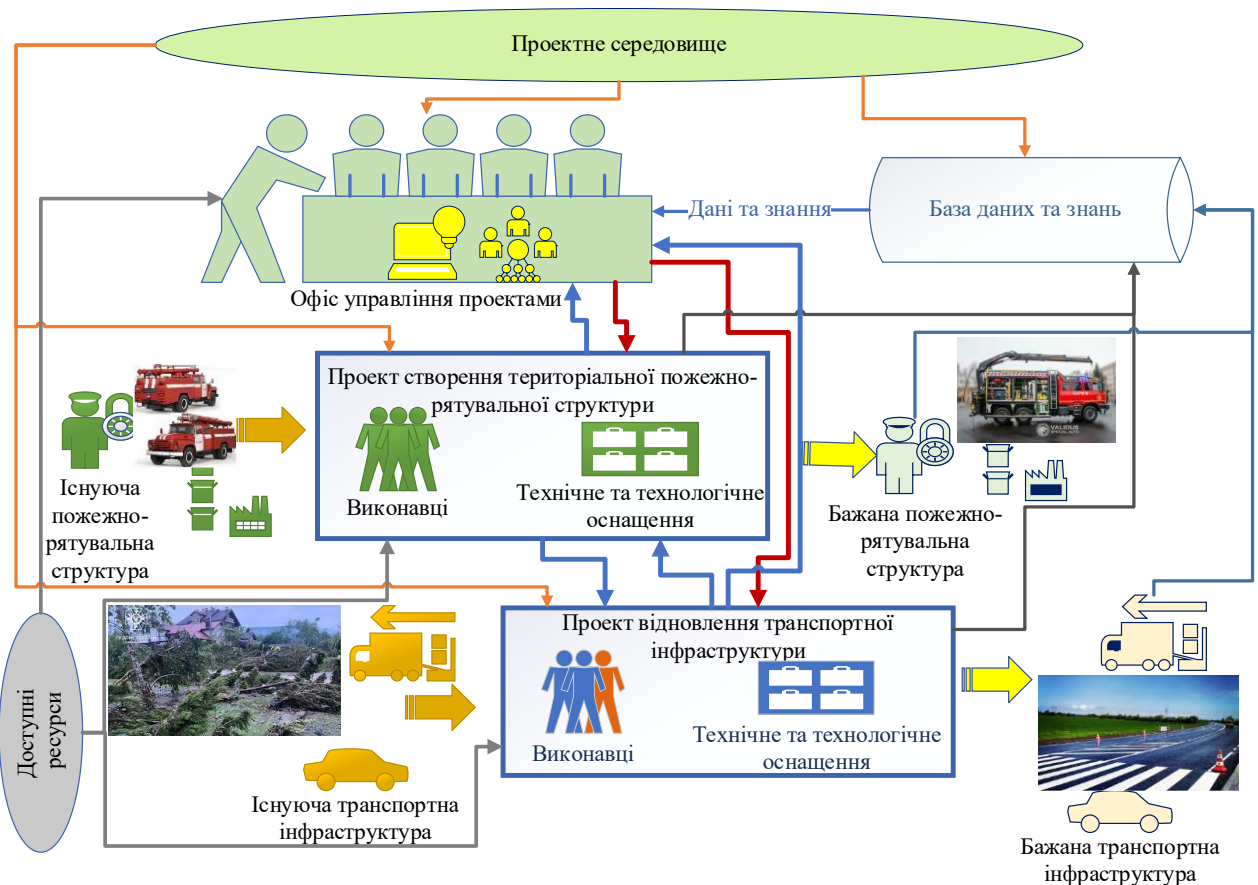


Рисунок 3.1 – Структурна модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

Стан реалізації проєкту створення територіальної пожежно-рятувальної структури $S(t)$ у момент часу t є інтегральним показником. Він відображає рівень виконання проєкту у часі, враховуючи стан етапів, виконання робіт, постачання ресурсів, кадрового забезпечення та зовнішні впливи (стан транспортної інфраструктури післявоєнного періоду). Якщо $S(t)=0$, проєкт не розпочато. Якщо $S(t)=1$, усі етапи виконано повністю, проєкт завершено. Значення $S(t) \in (0,1)$ – проєкт створення територіальної пожежно-рятувальної структури знаходиться на одному із етапів реалізації.

Ресурсне забезпечення $P_{res}(t)$ проєкту створення територіальної пожежно-рятувальної структури у момент часу t відображає наявні матеріальні, технічні, фінансові та кадрові ресурси для реалізації зазначеного проєкту на поточному етапі. Окрім того, враховує потенційні затримки у їх постачанні, розподілі пріоритетів і наслідки післявоєнних обмежень. Формально $P_{res}(t)$ описується через нормований агрегований показник:

$$P_{res}(t) = \frac{\sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot r_j(t)}{\sum_{j=1}^m \alpha_j}, \quad (3.2)$$

де m – кількість окремих видів залучених ресурсних (техніка, паливо, персонал, фінансування тощо); $r_j(t) \in [0,1]$ – рівень забезпечення проєкту j -им видом ресурсу на момент часу t (0 – повна відсутність, 1 – повне забезпечення); α_j – вага j -го виду ресурсу, яка відображає його важливість для виконання проєкту.

Стан реалізації проєкту відновлення транспортної інфраструктури громади $T_{cond}(t)$ у момент часу t є досить важливим показником у післявоєнний період, оскільки саме доступність транспортних коридорів визначає оперативність прибуття пожежно-рятувальних формувань, швидкість евакуації постраждалих і логістику матеріально-технічного забезпечення. Формально,

$T_{cond}(t)$ описується у вигляді агрегованої функції доступності та функціональності елементів транспортної мережі:

$$T_{cond}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i(t) \cdot \beta_i, \quad (3.3)$$

де n – кількість наявних ділянок транспортної інфраструктури (мости, дороги, переїзди тощо); $\delta_i(t) \in [0,1]$ – рівень функціональності i -тої ділянки на момент часу t (0 – зруйнована, 1 – повністю відновлена); β_i – вага або критичність i -тої ділянки у загальній транспортній мережі (мости мають більшу вагу, ніж внутрішні під'їзні дороги тощо).

Значення $T_{cond}(t)$ прямо впливає на ефективність реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій. У післявоєнний період, коли значна частина інфраструктури зруйнована або обмежена, управлінські рішення щодо реалізації проєктів відновлення транспортної інфраструктури мають базуватись на пріоритеті відновлення важливих транспортних вузлів для забезпечення безпеки регіону. Таким чином, структурна модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період включає оцінку $T_{cond}(t)$ як обов'язкову складову для прогнозування ризиків у реалізації зазначених проєктів.

Доступність аварійно-небезпечних ділянок $A_{net}(t)$ у момент часу t є також важливим показником у післявоєнний період. Його формально інтерпретують як ступінь досяжності (або рівень транспортної доступності) потенційно небезпечних об'єктів для пожежно-рятувальних формувань, що створюються або мобілізуються в межах гібридного проєкту ліквідації надзвичайних ситуацій. Отже $A_{net}(t)$ – це функція, що відображає просторово-часову доступність зон потенційних загроз (аварійно-небезпечних ділянок) для руху пожежно-рятувальних підрозділів, із урахуванням стану дорожньої інфраструктури, логістичних затримок, а також технічних обмежень засобів

реагування. У запропонованій моделі цей показник залежить від кількох змінних:

$$A_{net}(t) = f(D_i(t), S_{road}(t), V_{unit}, R_{block}(t)), \quad (3.4)$$

де $D_i(t)$ – відстань від пожежно-рятувальної частини до ділянки загрози у момент часу t ; $S_{road}(t)$ – прохідність доріг або коефіцієнт стану транспортної мережі; V_{unit} – середня швидкість переміщення рятувального підрозділу у момент часу t ; $R_{block}(t)$ – рівень блокування або обмеження проїзду (руйнування мостів, мінування, завали тощо).

Таким чином, чим нижче значення $A_{net}(t)$, тим складніше оперативно дістатися до зони ризику, а отже, тим вищі втрати та більша тривалість реалізації проекту. Цей показник є критично важливим для формування маршрутів і пріоритетних етапів відновлення інфраструктури.

Коефіцієнт $K(t)$ узгодженої координації між проектами створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури є інтегральною метрикою. Він дозволяє кількісно оцінити рівень взаємної узгодженості дій офісу управління проектами для наявного динамічного проектного середовища, особливо в умовах післявоєнного відновлення громад. Його можна описати виразом:

$$K(t) = \frac{\int_0^t \left[\omega_1 \cdot \frac{dS(\tau)}{d\tau} + \omega_2 \cdot \frac{dT_{cond}(\tau)}{d\tau} \right] \cdot \rho(\tau) d\tau}{\int_0^t \left| \frac{dS(\tau)}{d\tau} - \frac{dT_{cond}(\tau)}{d\tau} \right| d\tau + \varepsilon}, \quad (3.5)$$

де $S(t)$ – стан реалізації проекту створення територіальної пожежно-рятувальної структури у момент часу t ; $T_{cond}(t)$ – стан реалізації проекту відновлення транспортної інфраструктури громади у момент часу t ; ω_1, ω_2 – вагові

коефіцієнти пріоритетності обох проєктів ($\omega_1 + \omega_2 = 1$); $\rho(t)$ – коефіцієнт значущості синхронізації у момент часу t (в умовах високої загрози); ε – мале додатне число для уникнення ділення на нуль.

Якщо $K(t) \approx 1$, то реалізація обох проєктів відбувається синхронно і взаємо посилюють один одного. Якщо $K(t) < 0.5$, то спостерігається дисбаланс. Зокрема, створено територіальне пожежно-рятувальне формування, готове до реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, але немає доступу до об'єктів загрози, через зруйновану транспортну інфраструктуру або ж навпаки. Якщо $K(t) \rightarrow 0$, то проєкти повністю неузгоджені, що свідчить про ризик неефективного використання ресурсів.

Однією з головних умов реалізації моделі є синхронізація термінів та етапів реалізації двох взаємозалежних проєктів – створення пожежно-рятувальних підрозділів та відновлення транспортної інфраструктури. У разі відсутності процесу їх узгодження виникає ефект структурного затору, що математично описується функцією:

$$\delta_{delay} = \max\{0, T_{fire} - T_{road}\}, \quad (3.6)$$

де T_{fire} – час створення та готовності пожежно-рятувальної структури до виконання покладених завдань; T_{road} – час відновлення та готовності транспортної інфраструктури до руху по ній пожежно-рятувальних формувань.

Відомо, що без одночасного управління проєктами відновлення транспортної інфраструктури та створення пожежно-рятувальних формувань, останні залишаються ізольованими та неефективними. Доступність до об'єктів, що потребують захисту, можлива лише за умови завершення проєкту відновлення транспортної інфраструктури або ж додаткового створення умов для тимчасової доступності. Це у свою чергу потребує залучення додаткових

витрат ресурсів, обсяг яких є обмеженим у післявоєнний період. Отже, існує залежність результативності одного проєкту від темпів реалізації іншого.

Таким чином, структурна модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період передбачає реалізацію гібридного підходу з двома пов'язаними контурами – техніко-технологічного забезпечення та логістичної доступності пожежно-рятувальних формувань до об'єктів, що потребують захисту. Це потребує формалізації мультиагентної взаємодії між офісом управління проєктами, виконавцями, ресурсами та системою моніторингу. При цьому пріоритет мають не стільки календарні терміни, скільки інтегральний показник доступності до об'єктів, що потребують захисту:

$$A_{total} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{1}{1 + d_i}, \quad (3.7)$$

де w_i – ваговий коефіцієнт важливості i -го об'єкта; d_i – час досяжності до i -го об'єкта з найближчої ПРФ за наявного стану транспортної інфраструктури.

Запропонована структурна модель дає змогу побудувати адаптивну систему проєктного управління, де основними об'єктами управління виступають управлінські процеси щодо узгодження множини дій у двох видах проєктів, а результат оцінюється не лише у термінах їх виконання, але й у вартості врятованих життів та обсягу збережених матеріальних цінностей.

3.2. Модель формування цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Створення рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру має важливе значення для забезпечення безпеки населення громад та мінімізації наслідків воєнних конфліктів. До таких структур

належать рятувальні команди, групи психологічної підтримки, медичні заклади та інші організації, які надають допомогу в подоланні наслідків війни.

Основна цінність проєктів з розвитку рятувальної інфраструктури полягає в тому, що вони забезпечують ефективне та швидке реагування на надзвичайні ситуації військового характеру, зменшуючи кількість жертв та руйнувань [63]. Крім того, створення таких структур забезпечує координацію та взаємодію між відповідними службами та організаціями, що забезпечує ефективність дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а також прямий вплив на зменшення кількості жертв та збитків. Створення рятувальних структур також позитивно впливає на рівень безпеки та стабільності громад і регіонів. Коли населення громад спостерігає, що держава забезпечує ефективне реагування на надзвичайні ситуації воєнного характеру, то підвищується їхня довіра до органів державної влади, що сприяє зміцненню обороноздатності країни.

Запропонована модель формування цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру передбачає виділення чотирьох її складових. Саме вони забезпечують формування системної цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, що є основою для обґрунтування ефективної конфігурації цих проєктів (рис. 3.2).

Запропонована модель формування цінності (рис. 3.2), яку отримують стейкхолдери проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, передбачає її циклічне формування протягом життя зазначених проєктів. Кількість цих циклів залежить як від змін складових проєктного середовища окремих територій, так і від обсягів та етапів фінансування цих проєктів.

Зокрема, до вагомих складових проєктного середовища належать кількість постійних мешканців громад та їхня діяльність на територіях, де відбувалися бойові дії, наявність раніше не обстежених територій, які можуть бути заміновані або мати залишки зброї та зброї масового знищення, є одними з компонентів

проектного середовища окремих територій, що призводять до зміни цінностей. Вони зумовлюють виникнення вторинних вражаючих факторів для безпеки населення, які призводять до виникнення пожеж, руйнування будівель і споруд, викиду небезпечних речовин тощо, що в свою чергу призводить до загибелі людей, знищення матеріальних цінностей та природних ресурсів.

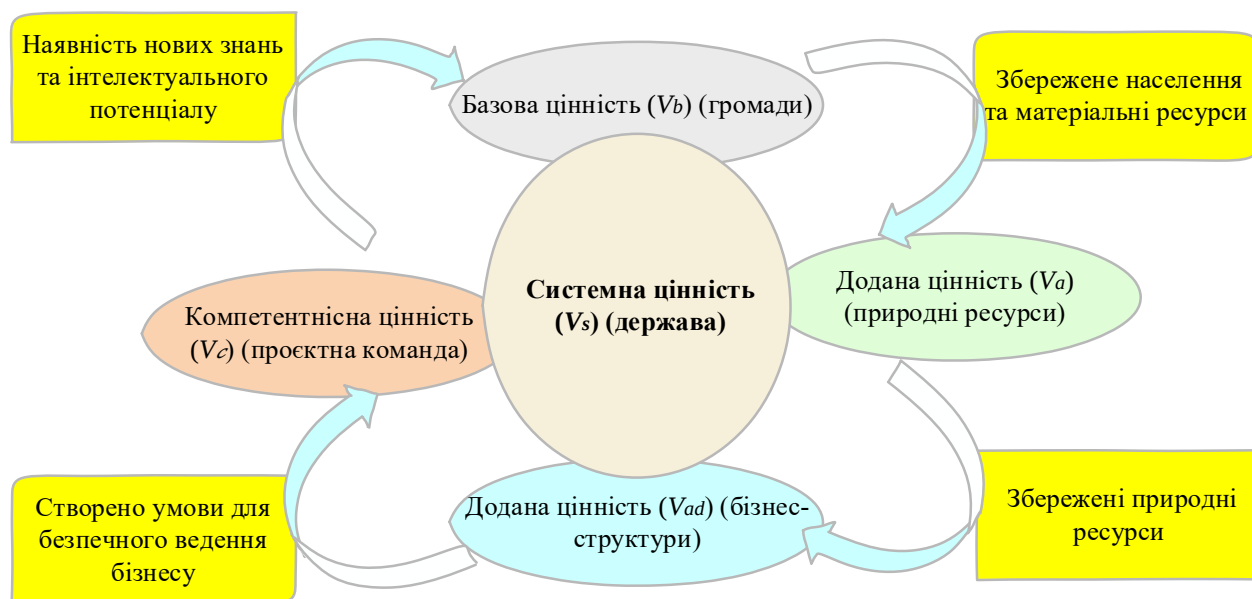


Рисунок 3.2 – Модель формування цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру

Стан проєктного середовища окремих територій та громад є визначальним у конфігурації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, реалізація яких впливає на кількісні показники отриманих від них вигод для певних груп стейкхолдерів. Основними стейкхолдерами проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру є населення громад, адміністрації громад, бізнес-структури, а також районні та обласні адміністрації, що представляють державу.

На рівні окремих територіальних громад основними стейкхолдерами є їх населення, яке потребує вигод від збереження здоров'я та життя людей, а також їхні матеріальні ресурси (житлові та інші будівлі, домашні тварини, запаси продовольства та кормів для тварин, набуте майно тощо) [59]. Ці вигоди оцінюються із врахуванням сукупності показників втрат населення (загибелі та втрати працездатності) та його матеріальних цінностей $\{P_{vt}\}$, які характеризують базову цінність (V_b) проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру.

Наступними стейкхолдерами проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру на рівні окремих громад є їхні адміністрації. Вони дбають про вигоди, пов'язані зі збереженням природних ресурсів (відсутність залишків зброї та засобів масового ураження на полях та території громади, відсутність шкідливих викидів у водойми та ґрунти, відсутність пожеж у лісах та громадських будівлях тощо). Їх оцінюють за сукупністю показників, що характеризують обсяги непридатних для використання територій та об'єктів через наявність залишків зброї та засобів масового ураження, а також втрати природних ресурсів від вторинної дії вражаючих факторів надзвичайних ситуацій воєнного характеру $\{M_{on}\}$, які характеризують додаткову цінність (V_a) проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків зазначених надзвичайних ситуацій. На територіях громад, де велися бойові дії, стейкхолдерами проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, виступають бізнесові структури. Вони дбають про вигоди від створення безпечних умов для ведення бізнесу (своєчасна ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій неспровокованих вибухів та пожеж, забезпечення чистою водою, наявність безпечної території для своєї діяльності тощо). Їх оцінюють за сукупністю показників, що характеризують своєчасність прибуття територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного

характеру та тривалість локалізації і ліквідації пожеж від вибухів залишків озброєння, а також втрати матеріальних ресурсів під час їх виникнення $\{P_{sp}\}$, які характеризують додану цінність (V_{ad}) проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації вказаних надзвичайних ситуацій.

Для проєктної команди, яка реалізує проєкти створення територіальних рятувальних структур для ліквідації зазначених надзвичайних ситуацій, також є переваги. Зокрема, члени проєктної команди отримують вигоду від появи нових знань та навичок, які підвищують їхній інтелект [63]. Їх оцінюють за сукупністю показників, що характеризують доступність бази даних та наявність знань для прийняття проєктних рішень, точність прийнятих рішень, а також втрати від неефективного управління зазначеними проєктами $\{P_{sc}\}$, які характеризують цінність компетентності (V_c) для проєктної команди.

Завдяки реалізації проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації визначених надзвичайних ситуацій отримується системна цінність (V_s). Вона виникає шляхом узгодження вигод усіх стейкхолдерів зазначених проєктів, а також завдяки виникненню синергетичних вигод, які примножать вигоди для зацікавлених сторін на основі використання створених територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру.

Належність кожної із зазначених складових цінності до стейкхолдерів проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, а також показники, за якими вони оцінюються, наведені в табл. 3.1.

Виходячи з вищевикладеного, слід сказати, що цінність V_{PR} від реалізації проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру визначається виразом:

Таблиця 3.1 – Належність складових цінності до стейкхолдерів проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру

Компонент цінності	Зацікавлені сторони	Вигоди	Індикатори оцінювання
Базова цінність (V_b)	Населення громад	Збереження життя і здоров'я населення, а також їхніх матеріальних ресурсів	Обсяг втрат населення (кількість загиблих та втрата працездатності) і його матеріальних цінностей
Додаткова цінність (V_a)	Адміністрація громад	Збереження природних ресурсів	Розмір непридатної для використання території та об'єктів унаслідок залишків озброєння та зброї масового ураження. Обсяг втрат природних ресурсів від вторинного впливу вражаючих факторів надзвичайних ситуацій військового характеру
Додана цінність (V_{ad})	Бізнес-структури	Створено умови для безпечного ведення бізнесу	Тривалість локалізації та ліквідації пожеж від вибухів залишків озброєння. Втрати матеріальних ресурсів під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій військового характеру
Компетентнісна цінність (V_c)	Проектна команда	Формування бази даних та набуття нових знань, зростання інтелектуального потенціалу	Точність прийнятих рішень. Втрати від неефективного управління проєктом
Системна цінність (V_s)	Держава	Створення нових робочих місць. Підвищення рівня безпеки громад у післявоєнний період	Кількість створених нових робочих місць. Частка зростання добробуту на території громади в післявоєнний період

$$V_{PR} = V_{bi} + V_{ai} + V_{adi} + V_c + V_s, \quad (3.8)$$

де V_{PR} – цінність від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, тис. грн; V_{bi} , V_{ai} , V_{adi} , V_c , V_s – відповідно базова, додана, додаткова, компетентнісна та системна цінність від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, тис. грн.

Для проведення кількісної оцінки кожної зі складових цінності V_{PR} від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, представлених у виразі (3.8), слід використовувати їх критерії та показники оцінки (табл. 3.1).

Населення громад має різне бачення користі від діяльності рятувальних структур під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру. Формула використовується для кількісного визначення базового значення цінності V_{bi} для населення громад:

$$V_{bi} = N_{ls} \cdot C_{ol} + R_{dp} \cdot C_{dp} + N_{tv} \cdot C_{tv} + N_{ps} \cdot C_{ps}, \quad (3.9)$$

де N_{ls} – кількість врятованих життів населення громади, осіб; C_{ol} – вартість одного життя населення громади, тис. грн; R_{dp} – кількість врятованого майна населення громади, одиниць; C_{dp} – вартість врятованого майна населення громади, тис. грн; N_{tv} – зменшення кількості населення громади, яке отримало медичну допомогу, осіб; C_{tv} – вартість лікування одного постраждалого, тис. грн; N_{ps} – зменшення кількості населення громади, яке отримало психологічну підтримку, осіб; C_{ps} – вартість психологічної підтримки, тис. грн.

Кількість врятованих життів на території громади визначається на основі статистичних даних про випадки порятунку життя в результаті діяльності рятувальних структур або на основі прогнозування можливих людських втрат без застосування рятувальних структур під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного стану. Вартість одного життя визначається на основі різних факторів, таких як середня заробітна плата, очікувана тривалість життя тощо.

Зменшення шкоди, завданої майну громади, визначається на основі оцінки шкоди, яку було врятовано або зменшено завдяки діям аварійно-рятувальних структур під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного стану. Вартість пошкодженого майна визначається на основі ринкових цін на аналогічні товари та послуги.

Зменшення витрат на лікування постраждалих під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного стану визначається на основі оцінки середніх витрат на лікування різних видів травм і захворювань. Вартість лікування одного постраждалого визначається на основі оцінки середньої вартості лікування різних видів захворювань.

Формула використовується для кількісної оцінки додаткової цінності V_{ai} для управління громадою:

$$V_{ai} = Q_{nr} \cdot C_{nr} + R_{dp} \cdot C_{dp}, \quad (3.10)$$

де Q_{nr} – обсяг збережених природних ресурсів, одиниць; C_{nr} – вартість одиниці природних ресурсів, тис. грн.; R_{dp} – обсяг врятованого майна населення громади, одиниць; C_{dp} – вартість зменшення витрат на відновлення природних ресурсів, тис. грн.

Обсяг збережених природних ресурсів визначається на основі їх оцінки, під якою розуміється врятоване або зменшення їх пошкодження внаслідок дій аварійно-рятувальних структур під час ліквідації надзвичайних ситуацій воєнного стану. Вартість одиниці природного ресурсу визначається на основі

ринкової ціни на цей ресурс або на основі вартості його використання в конкретній галузі.

Вартість зменшення витрат на відновлення природних ресурсів визначається на основі кошторису витрат на їх відновлення. Важливо зазначити, що формула (3.10) може бути більш складною і залежати від специфіки ліквідації наслідків НС воєнного характеру, виду ресурсів та їх важливості для різних сфер життєдіяльності.

Формула використовується для кількісної оцінки доданої цінності V_{adi} для бізнес-структур:

$$V_{adi} = C_{cp} + C_{vp}, \quad (3.11)$$

де C_{cp} – розмір зменшення збитків від зупинення виробництва або торгівлі, тис. грн; C_{vp} – вартість збереженого майна та активів під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, тис. грн.

Розмір зменшення втрат від зупинки виробництва або торгівлі визначається на підставі оцінки вартості можливих збитків у разі зупинки виробництва або торгівлі, а також виходячи з часу, необхідного для відновлення діяльності після ліквідації наслідків НС воєнного характеру. Збереження вартості майна та активів визначається на основі оцінки їх вартості, яка була збережена завдяки діям аварійно-рятувальних формувань. Важливо зазначити, що формула (3.11) може ускладнюватися залежно від специфіки галузі бізнесу та обставин, що склалися під час ліквідації наслідків НС воєнного характеру.

Формула використовується для кількісної оцінки значення компетентності цінності V_c команди проєкту:

$$V_c = A_{ks} \cdot L_{tp}, \quad (3.12)$$

де A_{ks} – обсяг знань та навичок, використаних у проєкті; L_{cp} – рівень ефективності команди.

Обсяг знань та навичок, які використовуються в проєкті, оцінюється на основі профілю проєкту, вимог до робочої групи та професійного досвіду команди. Рівень ефективності команди визначається на основі оцінки результатів проєкту, дотримання графіка та загальної продуктивності. Формула (3.12) є корисною для визначення того, наскільки ефективно команда проєкту виконує свої функції. Крім того, яку додаткову цінність привносить проєктна команда під час реалізації проєкту створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру завдяки результатам своєї роботи.

Системна цінність V_s для держави оцінюється за критерієм синергетичного ефекту від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, який визначається за формулою:

$$V_s = \frac{S_{pr} + F_{pr}}{B_{pr}}, \quad (3.13)$$

де S_{pr} – соціальний ефект від реалізації проєкту, тис. грн; F_{pr} – фінансовий ефект від реалізації проєкту, тис. грн; B_{pr} – бюджет проєкту, тис. грн.

Проєкт створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру має соціальну спрямованість і оцінюється, виходячи з кількості людей, які будуть захищені від наслідків надзвичайних ситуацій, та ступеня покращення інфраструктури, передбаченої проєктом. Фінансову вигоду від проєкту визначають на основі підвищення продуктивності праці, зниження витрат і збільшення прибутку. Цінність проєкту визначається на основі всіх витрат, пов'язаних з розробкою та

реалізацією проєкту, включаючи витрати на персонал, матеріали, обладнання та інші ресурси.

Зазначена належність складових цінності до стейкхолдерів проєкту, а також показники оцінки вигод для них є основою кількісної оцінки цінності створення територіальних рятувальних структур. А це, в свою чергу, надає показники для управління якістю проєктів зі створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру.

Запропонована модель формування цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру (рис. 3.2) дозволяє відобразити особливості формування та структуру цінностей, а також показники їх кількісної оцінки. Вона є одним із важливих інструментів ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, що забезпечує прийняття ефективних управлінських рішень. Встановлено, що цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру оцінюються у п'ять етапів, які пов'язані з вигодами для різних груп стейкхолдерів (населення громади, адміністрації громади, бізнес-структур, команди проєкту та держави).

3.3. Ціннісно-гібридний метод обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

У післявоєнний період на територіях, де проходили бойові дії або наявні пошкодження об'єктів, спостерігаються пошкодження інфраструктури. Це у свою чергу підвищує ризик виникнення надзвичайних ситуацій, що зумовлює потреби у швидкому реагуванні на загрози, що впливають на безпеку мешканців

цих територій. Одним із основних управлінських завдань, під час реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, є удосконалення системи розміщення пожежно-рятувальних підрозділів. Їх розташування на окремій адміністративній території впливає на ефективне прикриття території, швидкий доступ до критичних об'єктів та зменшення часу реагування на надзвичайній ситуації.

Запропонований ціннісно-гібридний метод обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період передбачає виконання 10 етапів, які представлено на рис. 3.3.

Крок 1. Збір даних про задану адміністративну територію через OSMNX із використанням OpenStreetMap. На першому кроці реалізації методу виконуємо збір даних про задану адміністративну територію. Це потрібно для формування актуальної мережі транспортних шляхів, аналізу доступності територій для руху пожежно-рятувальних формувань, а також виявлення критичних об'єктів, які потребують підвищеного рівня захисту від надзвичайних ситуацій.

Для цього використовуємо OpenStreetMap (OSM) – відкрите географічне джерело, яке містить детальну інформацію про вуличну мережу, будівлі, мости, річки, інженерні споруди та об'єкти критичної інфраструктури [118].

Отримання цих даних здійснюємо через бібліотеку OSMNX (мова Python), яка дозволяє завантажувати, обробляти та аналізувати геодані у форматі графів. Це дає змогу побудувати актуальну мережу транспортної інфраструктури, включаючи дороги, вулиці, перехрестя, залізничні переходи та інші об'єкти, що можуть впливати на тривалість переміщення пожежно-рятувальних формувань до місць виникнення надзвичайних подій.

Транспортну мережу представляємо у вигляді графа, де вершинами V є перехрестя та інші базові точки дорожньої мережі, а ребра E – відрізки доріг між ними. Ваги W на ребрах E відображають довжину вулиць, або ж середню швидкість руху, стан дорожнього покриття тощо. Формально, граф транспортної інфраструктури можна записати виразом:

$$G=(V,E,W), \quad (3.14)$$

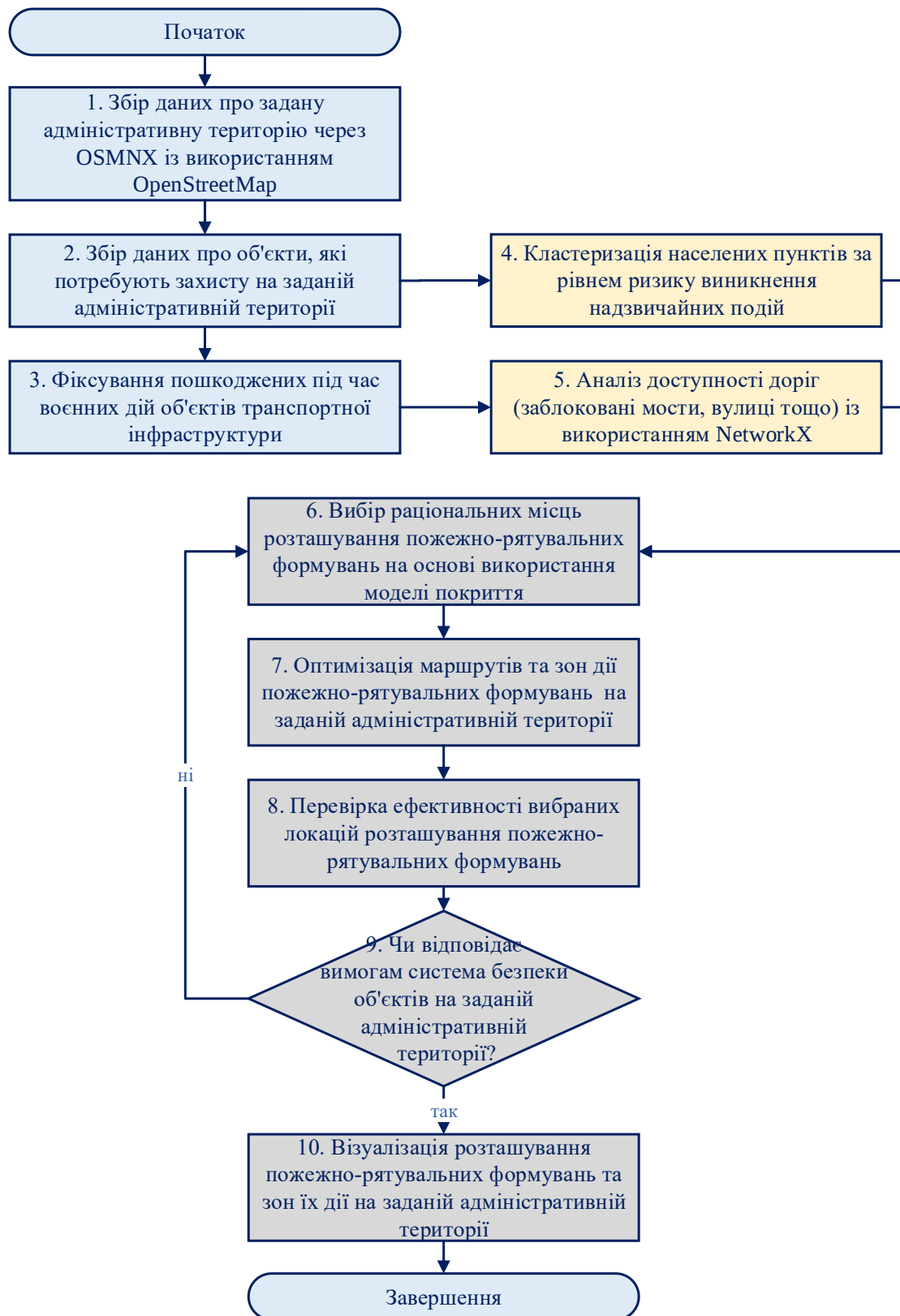


Рисунок 3.3 – Блок схема ціннісно-гібридного методу обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період

де W – множина ваг, що характеризують умови руху пожежно-рятувальних формувань по кожному сегменту дорожньої мережі.

Крок 2. Збір даних про об'єкти, які потребують захисту на заданій адміністративній території. Наступним кроком є ідентифікація критично важливих об'єктів, що потребують підвищеного рівня захисту у разі виникнення надзвичайних ситуацій. До таких об'єктів належать медичні заклади, школи, промислові підприємства, електростанції, житлові комплекси високої щільності населення та склади із небезпечними речовинами.

Далі виявляємо об'єкти, які потребують першочергового реагування у разі виникнення пожеж або інших надзвичайних подій. Для збору даних про ці об'єкти використовуємо теги OpenStreetMap, такі як:

- «amenity»=«hospital» для лікарень;
- «amenity»=«clinic» для клінік;
- «amenity»=«school» для шкіл;
- «amenity»=«kindergarten» для дитячих садків;
- «landuse»=«industrial» для промислових підприємств;
- «landuse»=«residential» для густонаселених районів.

Для оцінки важливості кожного об'єкта вводимо коефіцієнт критичності K , що визначається з виразу:

$$K = \frac{P \cdot S \cdot R}{1000}, \quad (3.15)$$

де P – чисельність населення (працівників), які наявні на об'єкті, осіб; S – площа будівлі, m^2 ; R – рівень ризику (від 1 до 5, визначається експертно або за статистичними даними).

Надалі виконуємо розрахунки за формулою (3.15) та формуємо таблицю із характеристиками показників критичності для вибраних об'єктів.

Отримані дані дають можливість оцінити пріоритетність об'єктів заданої адміністративної території для пожежно-рятувальних підрозділів, що буде враховано під час визначення оптимального розташування депо.

Крок 3. Фіксування пошкоджених об'єктів транспортної інфраструктури під час воєнних дій. Одним із важливих чинників проєктного середовища, який значною мірою впливає на ефективність планування проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, є стан транспортної інфраструктури. У післявоєнний період частина доріг, мостів та тунелів будуть пошкоджені або зруйновані внаслідок воєнних дій. Це вплине на вибір маршрутів руху пожежно-рятувальних формувань до місць із виникненням надзвичайних подій та загальний рівень доступності для них територій.

Дані щодо пошкоджених об'єктів інфраструктури отримаємо із використанням запропонованої нами моделі, яка передбачає використання унікальної платформи Google Earth Engine для аналізу великих геоданих та фреймворку OpenStreetMap. Модель ідентифікації пошкоджених об'єктів транспортної інфраструктури заданої адміністративної території у післявоєнний період дає можливість визначити та зафіксувати пошкоджені об'єкти транспортної інфраструктури під час воєнних дій. Це враховується під час оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів у післявоєнний період.

Для врахування пошкоджених об'єктів транспортної інфраструктури під час формування маршрутів руху пожежно-рятувальних формувань, усі пошкоджені сегменти виключаються з графа транспортної мережі. Це математично записуємо таким виразом:

$$G' = G - E_d, \quad (3.16)$$

де G' – оновлений граф територіального розташування об'єктів, які потребують захисту на заданій адміністративній території; E_d – множина зруйнованих ребер (доріг, мостів тощо).

Таким чином, модифікована дорожня мережа враховує реальний стан транспортної інфраструктури та виключає маршрути, які неможливо виконати через пошкоджені об'єкти (доріг, мостів тощо).

Описані три кроки методу забезпечують формування повноцінного набору вхідних даних для подальшої оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів на заданій території у післявоєнний період. Вони дадуть можливість отримати характеристики транспортної мережі з використанням OpenStreetMap. Вони є основою для визначення коефіцієнта критичності K кожного із об'єктів, які потребують захисту. Отримані дані про пошкоджену транспортну інфраструктуру дадуть змогу формувати ефективні маршрути руху пожежно-рятувальних формувань до місць виникнення надзвичайних подій. Вони забезпечать виконання наступних кроків для визначення оптимальних місць розташування пожежно-рятувальних формувань за критеріями мінімізації часу реагування на надзвичайні події та максимальної ефективності покриття заданої адміністративної території.

Крок 4. Кластеризація критично важливих об'єктів за рівнем ризику виникнення надзвичайних подій. Розподіл критично важливих об'єктів на групи за рівнем ризику є важливим етапом під час планування проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Цей крок дозволяє визначити, які об'єкти потребують першочергової уваги та які з них можна віднести до менш критичних груп.

На основі отриманих даних щодо показників критично важливих об'єктів заданої адміністративної території їх розділяємо на три групи, залежно від рівня ризику.

Отримані кластери визначають пріоритетність реагування на надзвичайні події. Об'єкти з високим ризиком потребують оперативного реагування, оскільки їх пошкодження призводить до значних людських втрат і матеріальних

збитків. Далі проводиться візуалізація кластеризації об'єктів заданої адміністративної території за рівнем ризику.

Крок 5. Аналіз доступності доріг (заблоковані мости, вулиці тощо) із використанням NetworkX. На цьому кроці аналізується сформований граф дорожньої мережі. У цьому графі кожен об'єкт (дорога або міст) є ребром, а перехрестя або важливі точки з'єднання – вузлами графа. Завантаження дорожньої мережі здійснюється через OpenStreetMap за допомогою бібліотеки OSMNX, дає можливість отримати граф, що описується формулою (3.14).

Після цього в граф додаються вагові коефіцієнти, що відображають доступність дороги:

$$w(e) = \begin{cases} \infty, & \text{пошкоджена дорога} \\ d(e), & \text{інше} \end{cases}, \quad (3.17)$$

де $w(e)$ – вагова функція (довжина дороги або блокування); $d(e)$ – фактична довжина дорожнього сегмента, якщо він доступний.

Результати аналізу блокування об'єктів транспортної мережі заданої адміністративної території із використанням тег OpenStreetMap, що позначають пошкоджені дороги та мости, подаються у вигляді таблиці.

Надалі усі об'єкти (дороги та мости) транспортної мережі заданої адміністративної території, що представлені у таблиці 3, відображаються у графі G як недоступні.

Після цього виконується аналіз шляхів руху пожежно-рятувальних формувань до місць виникнення надзвичайних подій. Використовується бібліотека NetworkX мови програмування Python для дослідження графів та мереж. Потім аналізуються найкоротші маршрути між основними точками, які відображають розташування пожежно-рятувальних формувань та об'єкти високого ризику щодо виникнення надзвичайних подій. Використано алгоритм Дейкстри, який забезпечує пошук оптимального маршруту з урахуванням заблокованих ділянок:

$$d(u, v) = \min \sum w(e), \quad (3.18)$$

де $d(u, v)$ – найкоротший шлях між вершинами u та v ; $w(e)$ – довжина кожного сегмента дороги або його блокування.

Якщо шлях між двома точками містить заблоковану дорогу (тобто $w(e) = \infty$), то маршрут вважається недоступним. На основі цього аналізу визначаються ефективні маршрути для руху пожежно-рятувальних формувань, щоб мінімізувати час прибуття до важливих об'єктів, у яких виникли надзвичайні події. При цьому, використання NetworkX дозволяє ефективно моделювати транспортну доступність, що є вагомим чинником для швидкого реагування на надзвичайні події.

Крок 6. Вибір раціональних місць розташування пожежно-рятувальних формувань на основі використання моделі покриття. Враховуючи результати попередніх етапів, стає очевидним, що визначення місць розташування пожежно-рятувальних формувань потребує врахування доступності дорожньої мережі та щільності критично важливих об'єктів.

Для виконання цього етапу використовується модель вибору раціональних місць розташування пожежно-рятувальних формувань на заданій території. Використано відкриті геоінформаційні дані, що надає платформа OpenStreetMap. Ці дані є основою формування детального уявлення про задану територію (громаду або район) та її дорожню мережу. Для опрацювання даних OpenStreetMap у середовищі Python застосовано бібліотеку OSMNX, яка забезпечує зручний інструментарій для створення графа дорожньої мережі та роботи з ним.

Запропонована модель забезпечує формування варіантів раціональних місць розташування пожежно-рятувальних формувань на заданій території. У подальшому ці варіанти використовуються для оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів у післявоєнний період із врахуванням інших чинників (цінності, логістики, безпеки тощо).

Крок 7. Оптимізація маршрутів та зон дії пожежно-рятувальних формувань на заданій адміністративній території. Після визначення потенційних місць дислокації пожежно-рятувальних формувань необхідно перейти до етапу оптимізації маршрутів для їх переміщення, а також чіткого окреслення зон дії кожного підрозділу. Основна мета цього етапу полягає у тому, щоб мінімізувати час прибуття до об'єктів критичної інфраструктури та населених пунктів, зважаючи на поточний стан дорожньої мережі та можливі обмеження руху.

Для кожного з базових пунктів розташування пожежно-рятувальних формувань B_i визначається зона обслуговування, яка включає ті об'єкти критичної інфраструктури та населені пункти, що розташовані в межах мінімального часу прибуття у разі виникнення надзвичайної події. Формально оптимізацію можна представити:

$$Z_i = \left\{ v_j \in V_c \cup V_s \mid T(B_i, v_j) \leq T_{\max} \right\}, \quad (3.19)$$

де Z_i – зона дії пожежно-рятувального формування з розташуванням у вузлі B_i , км; $T(B_i, v_j)$ – мінімальний час проходження маршруту від місця розташування B_i до об'єкта v_j , хв; $T_{\max}$ – гранично допустимий час прибуття пожежно-рятувальних формувань до місць виникнення надзвичайних подій для заданої території, хв.

Визначення мінімального часу $T(B_i, v_j)$ проходження маршруту від місця розташування B_i до об'єкта v_j здійснюється завдяки розрахунку найкоротшого шляху у графі дорожньої мережі з урахуванням вагових коефіцієнтів ребер (довжина дороги, середня швидкість руху, стан дороги). Для цього використовується модифікований алгоритм Дейкстри, де вага кожного ребра (e) визначається як:

$$w(e) = \frac{l(e)}{v(e)}, \quad (3.20)$$

де $l(e)$ – довжина ділянки дороги, км; $v(e)$ – середня допустима швидкість на цій ділянці, км/год.

На основі розрахованих маршрутів для кожного пожежно-рятувального формування формується карта зон дії, зведена інформація щодо оптимізації зон їх дії подається у вигляді таблиці.

Таким чином, реалізований підхід до оптимізації дозволяє отримати обґрунтовані зони дії для кожного пожежно-рятувального формування, забезпечити покриття всієї території (громади або району) у межах допустимого часу прибуття пожежно-рятувальних формувань до місць виникнення надзвичайних подій та уникнути надмірного дублювання використовуваних ресурсів.

Крок 8. Перевірка ефективності вибраних локацій розташування пожежно-рятувальних формувань. Після завершення етапу вибору потенційних місць для дислокації пожежно-рятувальних формувань слід оцінити ефективність запропонованих локацій. Основна мета перевірки полягає в тому, щоб впевнитися, що обрані точки забезпечують мінімальний час прибуття пожежно-рятувальних формувань до місць виникнення надзвичайних подій, покривають всі об'єкти критичної інфраструктури, а також відповідають критеріям рівномірного навантаження підрозділів ДСНС.

Для кількісної перевірки ефективності використовується показник середнього часу прибуття пожежно-рятувальних формувань до об'єктів у зоні їх дії. Додатково аналізується відсоток критичних об'єктів, що перебувають у межах допустимого часу прибуття пожежно-рятувальних формувань. Формально ефективність для кожного базового пункту розташування пожежно-рятувальних формувань B_i можна оцінити за формулою:

$$t(B_i) = \frac{1}{|Z_i|} \sum_{v_j \in Z_i} T(B_i, v_j), \quad (3.21)$$

де $t(B_i)$ – середній час прибуття пожежно-рятувальних формувань до об'єктів у зоні їх дії з базового пункту B_i ; Z_i – зона дії пожежно-рятувальних формувань; $T(B_i, v_j)$ – час руху пожежно-рятувального формування від місця розташування B_i до об'єкта v_j .

Якщо для всіх пунктів B_i розташування пожежно-рятувальних формувань середній час $t(B_i)$ не перевищує нормативного значення T_n , то обрані локації вважаються ефективними. Для наочності результати перевірки можна подати у таблиці.

Окрім кількісних показників, під час перевірки аналізують завантаженість дорожньої мережі, доступність основних маршрутів та можливість оперативного перенаправлення у разі блокування окремих ділянок доріг.

Крок 9. Чи відповідає вимогам система безпеки об'єктів на заданій адміністративній території? Щоб зрозуміти, чи відповідає система безпеки об'єктів усім необхідним вимогам, спершу аналізується, як розташовані пожежно-рятувальні формування щодо основних об'єктів на території. Дивляться, чи всі об'єкти критичної інфраструктури потрапили у зони покриття, чи немає таких, до яких важко дістатися або де час реагування виходить за допустимі межі. Якщо десь бачимо, що об'єкт розташований далеко від бази, або доступ до нього ускладнений, це свідчить про потребу переглянути розташування пожежно-рятувальних формувань. Також перевіряється, чи немає перевантажених підрозділів ДСНС, щоб частина об'єктів не залишалася без належного захисту. Загалом це дає розуміння, наскільки запропонована система справляється з поставленими завданнями і чи є сенс вносити зміни.

Крок 10. Візуалізація розташування пожежно-рятувальних формувань та зон їх дії на заданій адміністративній території. Коли вже було визначено точки, де саме розташовуватимуться пожежно-рятувальні формування, існує потреба

показати ці результати так, щоб їх можна було легко оцінити. Для цього всю отриману інформацію наносимо безпосередньо на карту території громади або району. В першу чергу позначаємо базові пункти, тобто ті місця, де планується розташування пожежно-рятувальних формувань. Після цього для кожного з них окреслюємо зону, за яку вони відповідатимуть.

Запропонований ціннісно-гібридний метод обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період забезпечує не лише розрахунок просторового покриття, а є основою планування проєктів створення пожежно-рятувальних структур. Його використання дозволяє адаптувати управлінські рішення під реальні характеристики проєктного середовища конкретної громади, а також забезпечити прозорість, обґрунтованість та результативність управлінських дій щодо реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період.

3.4. Аналіз та підготовка даних для обґрунтування нейромережевої моделі прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

Розроблення нейромережевої моделі прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій потребує глибокого інтелектуального аналізу даних, що виступає базовим етапом для реалізації інтелектуального ціннісно-гібридного управління відповідними проєктами. У межах цього етапу виконано множину дій, спрямованих на збирання, валідацію, структурування та попередню обробку ознак, які впливають на прогнозований показник – тривалість реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, що є індикатором ефективності управління такими проєктами у заданому проєктному середовищі.

Для навчання нейромережевої моделі використали дані, зібрані в Головному управлінні Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Львівській області. Отримані результати та показники реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій охоплюють проєктне середовище різної складності та масштабу, що дозволило сформувати збалансований набір спостережень та відповідно початкових даних.

Для виконання інтелектуального аналізу даних та побудови нейромережевої моделі прогнозування тривалості гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій було обрано інтерактивне програмне середовище Jupyter Notebook, яке забезпечує гнучке поєднання коду, візуалізації та аналітичних висновків у єдиному робочому просторі. Такий підхід дозволив ефективно реалізувати процес підготовки, обробки та дослідження даних із подальшою розробкою моделі машинного навчання.

Для виконання розрахунків застосовано бібліотеку scikit-learn, яка є одним із найбільш поширених інструментів Python для реалізації алгоритмів машинного навчання, зокрема багат шарових нейронних мереж. Вона дала змогу використовувати готові інструменти для нормалізації даних, поділу вибірки на тренувальну та тестову, а також налаштування параметрів моделі й оцінки точності її прогнозування.

Загалом було опрацьовано 458 примірників даних, кожен з яких відображає один із завершених проєктів з ліквідації надзвичайних ситуацій. Кожен примірник містив значення ключових змінних, що описують часові характеристики повідомлення, прибуття, локалізації й ліквідації, а також код територіальної прив'язки (населеного пункту). Така кількість спостережень дозволила забезпечити належну варіативність та репрезентативність для навчання моделі, мінімізуючи ризик перенавчання або втрати інформації у процесі побудови прогнозу.

Під час формування початкового набору даних для створення моделі прогнозування тривалості ліквідації надзвичайних ситуацій було здійснено попередній аналіз взаємозв'язків між змінними, який дозволив обґрунтувати

вибір найбільш інформативних атрибутів. Одним з ключових етапів цього аналізу стала побудова кореляційної матриці (рис. 3.4), яка відображає ступінь залежності між кількісними характеристиками, що супроводжують реалізацію проєктів з ліквідації надзвичайних ситуацій. Ця матриця дозволила визначити, які змінні є надлишковими або дублюють одна одну, а які забезпечують нову і важливу інформацію для прогнозної моделі.

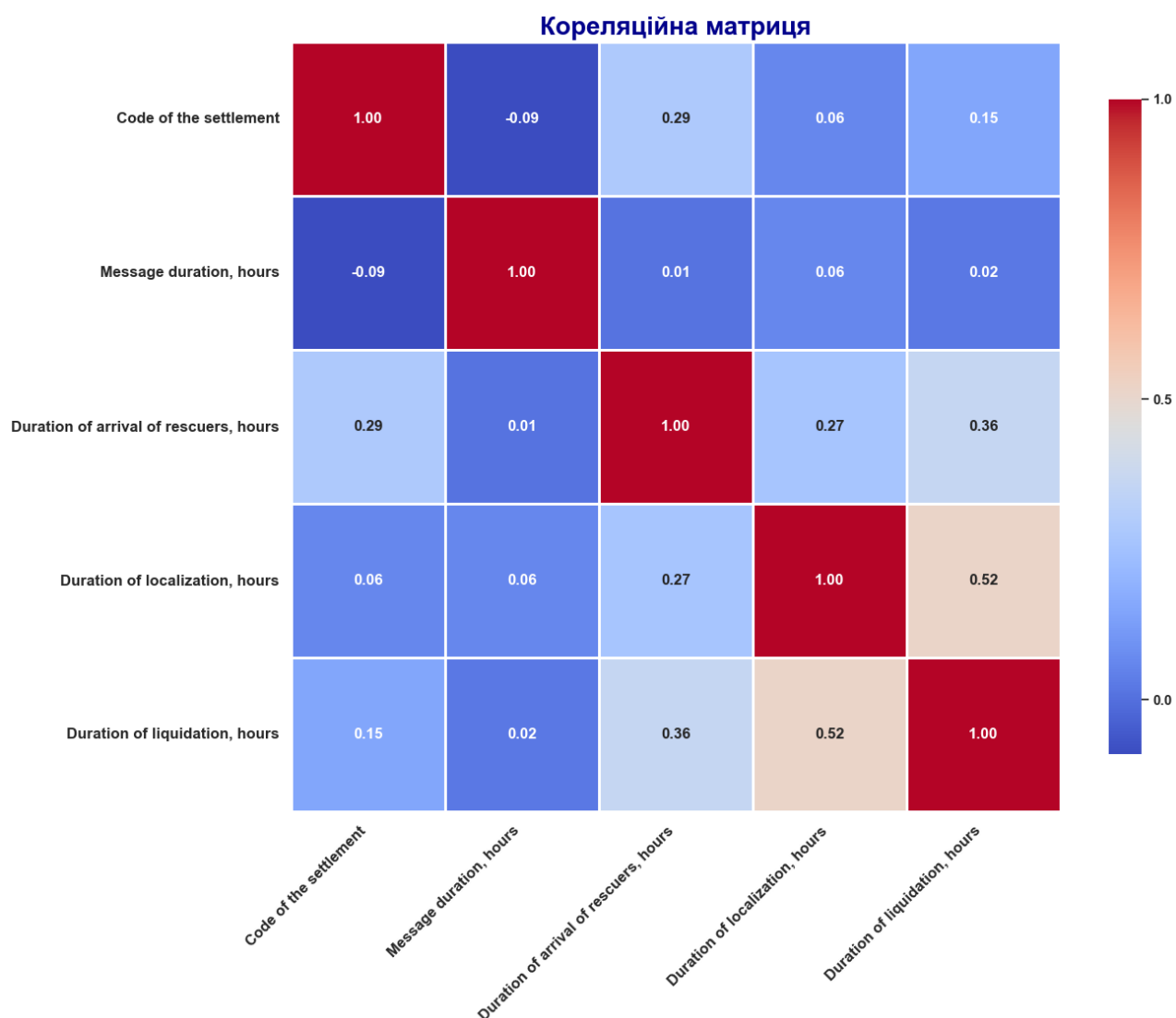


Рисунок 3.4 – Кореляційна матриця взаємозв'язків між складовими проєктного середовища, що зумовлюють тривалість реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

Рівняння для розрахунку кожного коефіцієнта кореляції між змінними X_i та Y_i можна записати у загальному вигляді:

$$r_{XY} = \frac{\sum (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \cdot (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (3.22)$$

де r_{XY} – коефіцієнт кореляції між змінними X та Y ; , X_i , Y_i – відповідно, значення змінних X та Y для i -го спостереження; $\bar{X}$, $\bar{Y}$ – середні значення змінних X та Y .

Як видно з рисунка 3.4, такі складові проєктного середовища, як «Тривалість повідомлення», «Тривалість прибуття рятувальників» та «Тривалість локалізації» мають слабку або помірну кореляцію з іншими параметрами, що свідчить про їхню відносну незалежність. Водночас вони логічно відображають послідовні етапи реагування у структурі гібридних проєктів з ліквідації надзвичайних ситуацій, а отже можуть суттєво впливати на тривалість ліквідації як цільового показника. Особливе місце займає «Код населеного пункту», який несе контекстуальну ознаку, пов'язану з географічним розташуванням, доступністю та інфраструктурними особливостями території.

Встановлено, що коефіцієнт кореляції r_{XY} змінюється від -1 до 1. Оцінюючи значення r_{XY} з ознакою «Тривалість ліквідації надзвичайної ситуації, год», можна сказати, що найвища кореляція (0,52) спостерігається з ознакою «Тривалість локалізації, год», тобто збільшення тривалості дій з локалізації надзвичайних ситуацій призводить до більшої тривалості процесів їх ліквідації. Загалом, проведений аналіз кореляційних зв'язків між факторами свідчить про те, що всі вони визначають тривалість проєктів з ліквідації надзвичайних ситуацій та потребують врахування під час проведення навчання моделі.

Таким чином, результати аналізу, представлені на рисунку 3.4, стали підставою для формування таблиці 3.2 вихідних даних, яка містить саме ті змінні, що є релевантними, інформативними та доцільними для подальшого

побудови нейромережевої моделі прогнозування тривалості гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

У таблиці 3.2 подано фрагмент масиву початкових даних, з якого формується навчальна вибірка. Побудована матриця спостережень є основою подальшого машинного навчання моделі та моделювання тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Аналіз виявлених аномальних значень у вибраних даних, які використовуються для побудови нейромережевої моделі, дозволяє поглиблено оцінити якість вхідного масиву та потребу його попередньої обробки. Усього з-поміж 458 записів зафіксовано 70 аномалій у показнику тривалість отримання повідомлення про надзвичайну подію (Message duration, hours). Це становить приблизно 19,1% від загальної вибірки. Значна частка таких значень свідчить про збої в реєстрації надзвичайних подій, помилки введення або специфіку автоматизованих систем моніторингу. Зокрема, за нормального функціонування системи оповіщення очікується стабільне значення близько 0,083 год, як видно з медіани і 75-процентилів, тому великі відхилення вгору або вниз можуть бути розцінені як непридатні для навчання моделі без попередньої обробки.

Таблиця 3.2 – Фрагмент масиву початкових даних для прогнозування тривалості гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

№	Код населеного пункту	Тривалість повідомлення, год	Тривалість прибуття рятувальників, год	Тривалість локалізації, год	Тривалість ліквідації, год
1	2903	0,083	0,500	0,017	0,217
2	101	0,083	0,200	0,967	0,617
3	2801	0,083	0,500	0,617	0,600
4	2502	0,083	0,317	0,033	0,333
...	...	...	...	...	...
n	3002	0,083	0,450	0,017	0,850

У складовій гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, яка характеризує тривалість прибуття рятувальників (Duration of arrival of rescuers, hours) аномальних значень не виявлено, що свідчить про стабільну й репрезентативну динаміку цього показника у всіх записах. Це також підтверджує цінність цього параметра як надійного предиктора у моделі. Стабільність даних у межах 0,133...0,75 години дозволяє моделі ефективно навчатися без потреби у складних процедурах очищення цього атрибуту.

Для змінної гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, яка характеризує тривалість локалізації надзвичайної події (Duration of localization, hours) було виявлено 12 аномальних значень, що становить близько 3,3% вибірки. Аномалії у основному пов'язані як із нехарактерно малими значеннями (наближеними до 0,017 год), так і з надмірно великими, які становили до 1,45 год. Такі крайні випадки потребують перевірки через інтерквартильний розмах або метод Z-оцінок. Формально, для ідентифікації аномалій використовувалося правило:

$$x \in [Q_1 - 1.5 \cdot IQR, Q_3 + 1.5 \cdot IQR], \quad (3.23)$$

де Q_1 і Q_3 – перший і третій квартилі; IQR (Interquartile Range) – міжквартильний розмах, статистичний показник, який описує розкид (розсіювання) центральної частини вибірки.

Міжквартильний розмах IQR визначається як різниця між третім квартилем Q_3 і першим квартилем Q_1 , тобто:

$$IQR = Q_3 - Q_1. \quad (3.24)$$

У складовій гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, яка характеризує тривалість ліквідації надзвичайної ситуації (Duration of liquidation, hours) містилося 18 аномальних спостережень (4.9%), що вказує на наявність як

надмірно коротких, так і тривалих робіт із ліквідації надзвичайної ситуації. Усі аномальні випадки впливають на якість прогнозної моделі, особливо якщо вони зміщують розподіл або викликають перенавчання моделі. Тому рекомендовано або виключати ці значення, або замінювати їх медіаною (усередненим квантилем).

Отже, на основі аналізу аномальних значень для кожного з параметрів, сформовано таблицю 3.3, яка узагальнює ці результати.

Таким чином, етап обробки аномальних значень є досить важливим у процесі побудови нейромережевої моделі, оскільки дозволяє уникнути перекосу у прогнозах та забезпечити стабільність результатів навіть при нетипових сценаріях реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Таблиця 3.3 – Характеристика аномальних значень у складових гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

Складова гібридних проєктів	Кількість аномалій	Частка, %
Тривалість отримання повідомлення про надзвичайну подію, год.	70	19,1
Тривалість прибуття рятувальників до місця виникнення надзвичайної події, год.	0	0,0
Тривалість локалізації надзвичайної події, год.	12	3,3
Тривалість ліквідації надзвичайної події, год	18	4,9

Після етапу очистки, нормалізації та приведення даних до уніфікованого формату було визначено перелік найбільш інформативних змінних. Структура вхідних даних представлена у вигляді атрибутів:

X_1 – код населеного пункту (ідентифікатор територіальної одиниці);

X_2 – тривалість повідомлення про подію, год;

X_3 – тривалість прибуття рятувального підрозділу до місця події, год;

X_4 – тривалість локалізації надзвичайної ситуації, год;

Y_1 – цільовий показник, тривалість ліквідації надзвичайної ситуації, год.

Таким чином, вектор ознак для одного спостереження має вигляд:

$$X = [X_1, X_2, X_3, X_4], \quad Y = Y_1, \quad (3.25)$$

Далі ми провели аналіз базових статистичних характеристик вхідних змінних, наведених у таблиці 3.4.

Отримані результати дозволяють зробити низку важливих висновків для побудови нейромережевої моделі прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Таблиця 3.4 – Базові статистичні характеристики вхідних змінних для прогнозування тривалості гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

	Code of the settlement	Message duration, hours	Duration of arrival of rescuers, hours	Duration of localization, hours	Duration of liquidation, hours
count	366.000000	366.000000	366.000000	366.000000	366.000000
mean	1264.825137	0.093087	0.357732	0.284434	0.288617
std	1081.390111	0.035498	0.137223	0.242256	0.251001
min	101.000000	0.033000	0.133000	0.017000	0.017000
25%	101.000000	0.083000	0.217000	0.100000	0.117000
50%	1006.500000	0.083000	0.350000	0.217000	0.217000
75%	2403.000000	0.083000	0.500000	0.400000	0.383000
max	3103.000000	0.250000	0.750000	1.450000	1.600000

Встановлено, що середній час передачі повідомлення про надзвичайну подію становив 0,093 години ($\approx 5,6$ хв), що є доволі оперативним показником, особливо з огляду на те, що у 75% випадків цей показник не перевищує 0,083 години. Водночас максимальне значення дорівнює 0,25 години, що може свідчити про технічні або організаційні затримки у передачі інформації в окремих інцидентах.

Щодо змінної, яка характеризує тривалість прибуття рятувальників «Duration of arrival of rescuers», середнє значення становить 0,358 години, а стандартне відхилення – 0,137 годин, що вказує на значну варіативність часу прибуття рятувальних підрозділів (рис. 3.5).

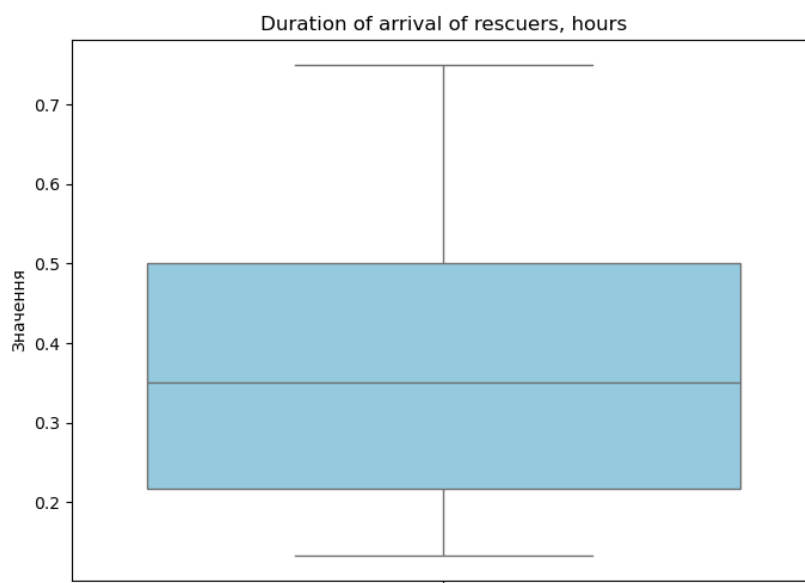


Рисунок 3.5 – Boxplot-графік зміни тривалості прибуття рятувальників до місця надзвичайної події, год

Отриманий графік (рис. 3.5) наочно демонструє розподіл значень змінної, яка характеризує тривалість прибуття рятувальників «Duration of arrival of rescuers», середнє положення, міжквартильний розмах *IQR*, а також межі нормальних значень без виявлених аномалій.

Встановлено, що 25% спостережень мають значення $\leq 0,217$ год, а максимальне значення досягає 0,75 год, що може бути критичним у сільській місцевості або при порушеній транспортної інфраструктурі. Така інформація дозволяє врахувати часову доступність населених пунктів у рамках ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур.

Тривалість локалізації надзвичайних подій також демонструє широку варіативність (рис. 3.6).

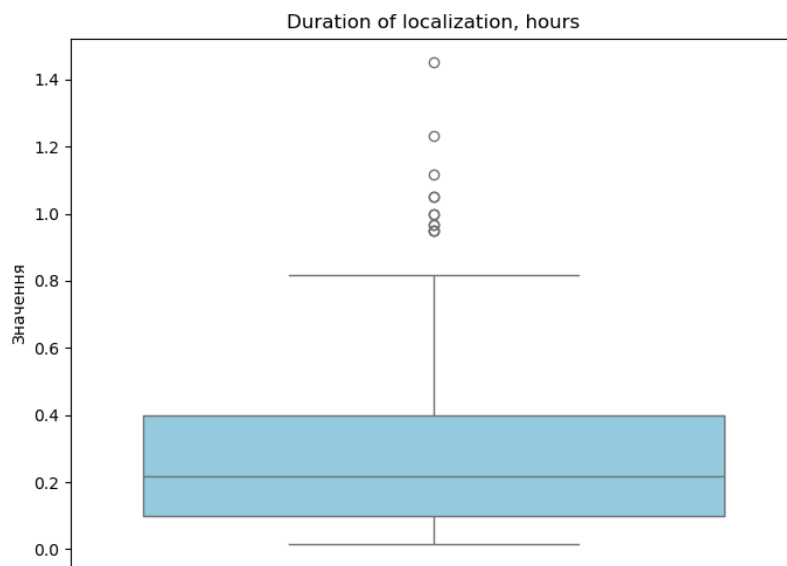


Рисунок 3.6 – Boxplot-графік зміни тривалості локалізації надзвичайної події, год

Отриманий графік (рис. 3.6) ілюструє статистичний розподіл значень тривалості локалізації надзвичайних подій «Duration of localization», виявляючи наявність численних викидів (аномальних значень), що перевищують верхню межу *IQR*. Візуалізація демонструє медіану, квартилі та верхні межі допустимих значень, що дає змогу оцінити варіативність часу локалізації інцидентів.

Встановлено, що середнє значення дорівнювало 0,284 години, а медіана – 0,217 години, що вказує на помірну асиметрію розподілу. Значення 75-го перцентилля становить 0,4 год. і максимум у 1,45 год, що є важливими орієнтирами для розрахунку граничних часових інтервалів ефективної ліквідації надзвичайної події.

Цільова змінна моделі, яка відображає тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, характеризується середнім значенням 0,289 години, а стандартне відхилення становить 0,251 год (рис. 3.7).

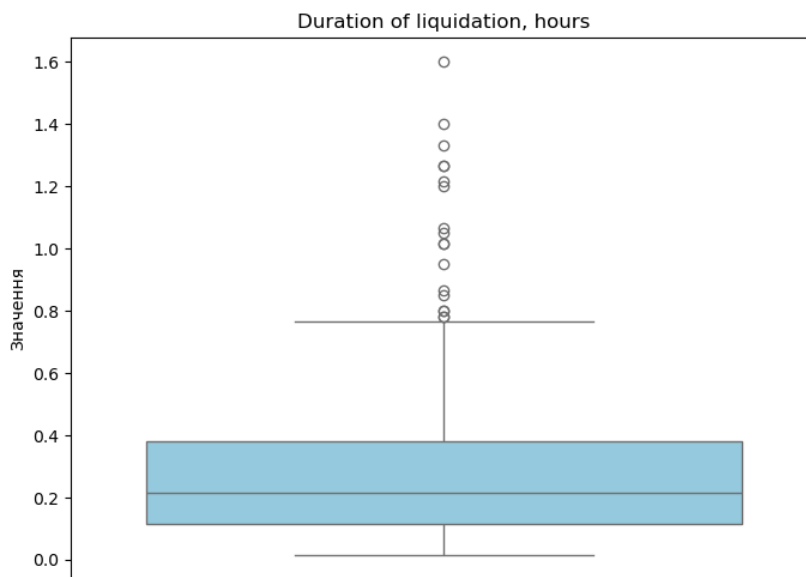


Рисунок 3.7 – Boxplot-графік зміни тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, год

Отриманий графік (рис. 3.7) демонструє розподіл значень ознаки, яка відображає тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій «Duration of liquidation» з виділенням медіани, квартильного розмаху *IQR* та значної кількості викидів, що перевищують верхню межу. Виявлено суттєву варіативність реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій. Встановлено, що у 50% випадків (медіана) тривалість реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій не перевищувала 0,217 год. Проте, були зафіксовані значення тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій до 1,6 годин, що свідчить про складність окремих робіт або затримку у їх виконанні. Така інформація є важливою для обґрунтування часових параметрів у симуляційних або прогностичних моделях, а також для прийняття управлінських рішень у гібридних проєктах ліквідації надзвичайних ситуацій.

Таким чином, наведені числові характеристики належать до процесів нормалізації та масштабування даних перед їх передачею до нейромережевої моделі. Зокрема, доцільно застосовувати мін-макс нормалізацію для атрибутів з обмеженим діапазоном та Z-нормалізацію для більш варіативних змінних. Отже,

табличні дані (табл. 3.4) не лише репрезентують початкову інформацію, а й дають змогу аналітично оцінити потенційний внесок кожної змінної у точність прогнозу.

Рисунок 3.8 ілюструє емпіричний розподіл значень тривалості ліквідації надзвичайних ситуацій (у годинах), які було зафіксовано у процесі реалізації 458 гібридних проєктів.

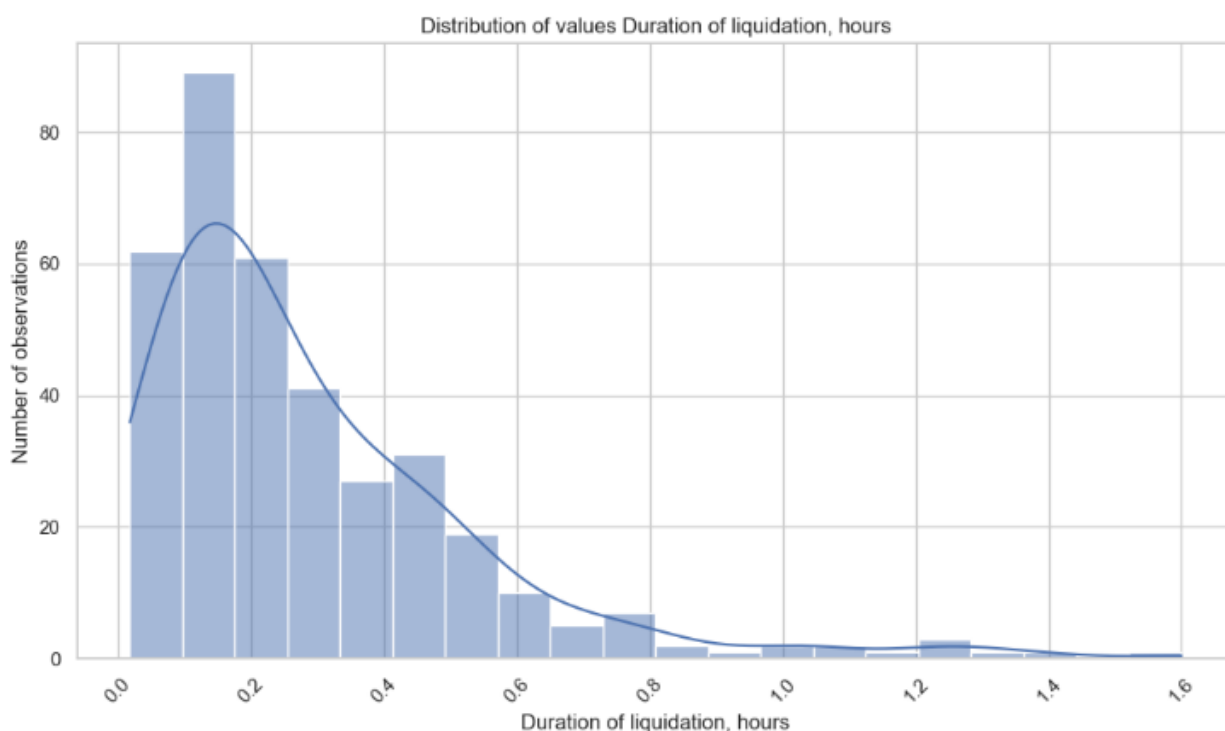


Рисунок 3.8 – Розподіл тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

Гістограма (рис. 3.8) демонструє характерну асиметричну правосторонню форму, де абсолютна більшість подій (понад 80 спостережень) має тривалість гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій у межах 0,15...0,25 години, що вказує на високу оперативність реагування в більшості випадків. Усього понад 60% реалізованих проєктів завершуються ліквідацією наслідків упродовж перших 0,4 години.

Крива густини ймовірності тривалості гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, накладена на гістограму, вказує на логнормальний

характер розподілу, що типове для часових характеристик процесів управління проектами безпеки. Спостерігається, що тривалість гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, що виходить за межі 1,0 години, фіксується рідко (менше 5% випадків), але саме ці значення можуть бути вагомими з позиції управління ризиками в проєктах та для оцінки ефективності системи реагування. Найдовший зафіксований випадок ліквідації становив понад 1,5 години, що може свідчити про ускладнені умови доступу, масштабність інциденту або недостатню укомплектованість формування.

З позиції моделювання, такий розподіл цільової змінної Y_1 («Duration of liquidation, hours») є важливим для вибору функції втрат при навчанні нейромережевої моделі. Наприклад, використання середньоквадратичної помилки (MSE) є доцільним для таких безперервних, асиметрично розподілених ознак. Нормалізація значень також була необхідною перед подачею їх до моделі, щоб зменшити вплив екстремальних значень та пришвидшити збіжність навчання.

Інші залежності та розподіли складових гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій подано у додатку А. Вони підтверджують, що більшість значень є концентрованими в нижньому діапазоні, що дає змогу ефективно навчати модель на основі переважаючих сценаріїв і водночас зберігати чутливість до атипових випадків із тривалою реалізацією гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій. Це підвищує точність прогнозу та моделі у реальних умовах проєктного середовища.

3.5. Обґрунтування нейромережевої моделі прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

Для забезпечення високої точності прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій було розроблено та

проаналізовано декілька варіантів архітектури багатошарових перцептронів (MLP).

У нашому дослідженні було розглянуто п'ять різних архітектур багатошарових перцептронів (MLP). Зокрема, змінювали їх архітектуру щодо глибини та ширини нейронної мережі – (100, 50), (50, 50, 50), (200, 100, 50), (100, 100, 100) та (150, 100, 50). Кожна з цих архітектур обрана не випадково, а на підставі логіки формування представлення ознак на різних рівнях абстракції. Такі архітектури дозволяють порівняти як неглибокі, так і глибші нейронні мережі з різною кількістю нейронів на кожному шарі, що дає змогу з'ясувати вплив кількості параметрів на узагальнюючу здатність моделі.

Модель з архітектурою (100, 50) належить до двошарового MLP, який використовується як базова структура (рис. 3.9).

Model: "sequential"

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense (Dense)	(None, 100)	500
dense_1 (Dense)	(None, 100)	10,100
dense_2 (Dense)	(None, 50)	5,050
dense_3 (Dense)	(None, 1)	51

Total params: 15,701 (61.33 KB)

Trainable params: 15,701 (61.33 KB)

Non-trainable params: 0 (0.00 B)

Рисунок 3.9 – Модель двошарового MLP прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій з архітектурою (100, 50)

Модель з архітектурою (100, 50) (рис. 3.9) здатна навчити базові закономірності, не перенавантажуючи обчислювальні ресурси. Таку структуру

обґрунтовано використовувати при обмежених даних або коли ознаки мають низьку кореляцію з цільовим показником. У дослідженні така модель досягла середньої квадратичної помилки $MSE=0,0162$, демонструючи добрий компроміс між складністю і точністю.

Архітектура (50, 50, 50) моделі двошарового MLP прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій має симетричну трирівневу мережу із однаковою кількістю нейронів, що сприяє стабільному проходженню градієнтів та створенню глибших багатofакторних абстракцій (рис. 3.10).

Model: "sequential_1"

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_4 (Dense)	(None, 100)	500
dense_5 (Dense)	(None, 50)	5,050
dense_6 (Dense)	(None, 50)	2,550
dense_7 (Dense)	(None, 50)	2,550
dense_8 (Dense)	(None, 1)	51

Total params: 10,701 (41.80 KB)

Trainable params: 10,701 (41.80 KB)

Non-trainable params: 0 (0.00 B)

Рисунок 3.10 – Модель тришарового MLP прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій з архітектурою (50, 50, 50)

Така симетрична архітектура (рис. 3.10) є рекомендованою для задач, у яких ознаки мають приблизно однакову важливість. У даному випадку модель показала $MSE=0,0157$ – трохи кращий результат у порівнянні з попередньою складністю.

Модель з архітектурою (200, 100, 50) є найбільш широкою і глибокою в даній групі (рис. 3.11).

Model: "sequential_2"

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_9 (Dense)	(None, 100)	500
dense_10 (Dense)	(None, 200)	20,200
dense_11 (Dense)	(None, 100)	20,100
dense_12 (Dense)	(None, 50)	5,050
dense_13 (Dense)	(None, 1)	51

Total params: 45,901 (179.30 KB)

Trainable params: 45,901 (179.30 KB)

Non-trainable params: 0 (0.00 B)

Рисунок 3.11 – Модель тришарового MLP прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій з архітектурою (200, 100, 50)

Модель (рис. 3.11) забезпечує більший простір для представлення складних взаємозв'язків між ознаками, що особливо важливо у задачах, пов'язаних з геопросторовими даними, параметрами рятувальних дій та багатьма контекстуальними факторами. Попри значне зростання кількості параметрів, така модель виявила найменшу середню квадратичну помилку $MSE=0,0143$, що свідчить про кращу здатність до узагальнення при відповідному регулюванні (*early_stopping*, $\alpha=0.001$).

Архітектура (100, 100, 100) моделі прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій репрезентує глибоку, але симетричну структуру, яка дозволяє перевірити стабільність узагальнення при високій глибині без зміни ширини шарів (рис. 3.12).

Model: "sequential_3"

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_14 (Dense)	(None, 100)	500
dense_15 (Dense)	(None, 100)	10,100
dense_16 (Dense)	(None, 100)	10,100
dense_17 (Dense)	(None, 100)	10,100
dense_18 (Dense)	(None, 1)	101

Total params: 30,901 (120.71 KB)

Trainable params: 30,901 (120.71 KB)

Non-trainable params: 0 (0.00 B)

Рисунок 3.12 – Модель тришарового MLP прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій з архітектурою (100, 100, 100)

Model: "sequential_4"

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_19 (Dense)	(None, 100)	500
dense_20 (Dense)	(None, 150)	15,150
dense_21 (Dense)	(None, 100)	15,100
dense_22 (Dense)	(None, 50)	5,050
dense_23 (Dense)	(None, 1)	51

Total params: 35,851 (140.04 KB)

Trainable params: 35,851 (140.04 KB)

Non-trainable params: 0 (0.00 B)

Рисунок 3.13 – Модель тришарового MLP прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій з архітектурою (150, 100, 50)

Модель (рис. 3.12) продемонструвала гіршу стійкість до перенавчання – $MSE=0,0181$, що вказує на перенасичення параметрами без суттєвого покращення якості.

Модель з архітектурою (150, 100, 50) реалізує ідею звуження, коли на кожному наступному шарі зменшується кількість нейронів (рис. 3.13). Такий принцип побудови називають архітектурою «пісочного годинника», яка сприяє виявленню латентних ознак та стисканню простору представлення. Ця модель теж показала хороші результати ($MSE=0,0151$) і може вважатися однією з найкращих, якщо враховувати баланс між точністю та інтерпретованістю.

У процесі аналізу ефективності архітектур багат шарових перцептронів (MLP), було побудовано графіки зміни функції втрат (loss function) під час навчання п'яти різних моделей (додаток Б). Кожен із рисунків Б.1-Б.5 показує динаміку зменшення помилки навчання залежно від кількості епох, що дозволяє оцінити як швидкість збіжності, так і стабільність навчання моделі.

На рисунку Б.1 (додаток Б) зображено графік функції втрат моделі з архітектурою (100, 50), яка складається з двох прихованих шарів. Початкове значення функції втрат становило приблизно 0,059, після чого спостерігається стрімке зниження до рівня 0,0102 вже на 10-й епосі. Подальше зменшення має згладжений характер, і на 20-й епосі досягає рівня 0,0087. Цей графік свідчить про швидку адаптацію моделі до вхідних даних і стабільну збіжність без ознак перенавчання.

Рисунок Б.2 (додаток Б) відображає процес навчання для моделі з трьома прихованими шарами архітектури (50, 50, 50). Початкове значення функції втрат дорівнює 0,0391, і вже на 5-й епосі воно зменшується до 0,0108. На подальших етапах навчання крива стабілізується поблизу значення 0,0085 на 30-й епосі, що свідчить про ефективне навчання при помірній складності моделі. Порівняно з попередньою архітектурою, ця модель показує нижчу кінцеву функцію втрат, однак потребує більшої кількості епох для досягнення стабільності.

На рисунку Б.3 (додаток Б) представлено динаміку зменшення функції втрат для моделі (200, 100, 50), яка має найбільшу кількість параметрів – 21000,

Початкове значення функції втрат становить 0,0327, а вже на третій епосі спостерігається зменшення до 0,0152. Модель досягає найнижчого значення втрат 0,0098 приблизно на 14-й епосі, що свідчить про добру здатність до навчання навіть при великій складності. Проте така архітектура потребує обережного налаштування для уникнення перенавчання.

Рисунок Б.4 (додаток Б) демонструє функцію втрат для моделі з однаковою кількістю нейронів на кожному з трьох шарів (100, 100, 100). Стартове значення втрат на першій епосі становить 0,0287, а вже на 6-й епосі знижується до 0,0123. До 12-ї епохи значення досягає 0,0109, після чого не змінюється істотно. Такий характер кривої вказує на високу стабільність процесу навчання, однак із дещо нижчим рівнем адаптації, ніж у попередньої архітектури.

Графік на рисунку Б.5 (додаток Б) відображає поведінку функції втрат для моделі (150, 100, 50), яка показала найменше значення середньої квадратичної помилки ($MSE=0,0168$). Початкова втрата становить 0,0182, після чого на 5-й епосі вона зменшилась до 0,0125. На 13-й епосі модель досягає мінімального значення 0,0108. Така поведінка підтверджує, що баланс між кількістю нейронів і глибиною мережі дав змогу досягти оптимального співвідношення між якістю прогнозування та швидкістю збіжності.

Отримані результати наведено у таблиці 3.5, що містить порівняння значень функції втрат на останній епосі для кожної досліджуваної моделі.

Таблиця 3.5 – Значення функції втрат на останній епосі для досліджуваних моделей MLP прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

№ моделі	Архітектура MLP	Епох навчання	Training Loss (остання епоха)
1	(100, 50)	20	0,0087
2	(50, 50, 50)	30	0,0085
3	(200, 100, 50)	14	0,0098
4	(100, 100, 100)	12	0,0109
5	(150, 100, 50)	13	0,0108

На рисунку Б.6 (додаток Б) подано гістограму, що відображає значення функції втрат (training loss) на останній епосі навчання для п'яти досліджуваних архітектур моделей багатошарового перцептрону (MLP), які були застосовані для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій. Кожна архітектура позначена комбінацією кількості нейронів у прихованих шарах.

Функція втрат (training loss) у задачі регресії, зокрема для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій визначається як середньоквадратична похибка (MSE – Mean Squared Error). Формально вона записується таким чином:

$$L_{\text{MSE}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (3.26)$$

де n – кількість спостережень у навчальній вибірці; y_i – фактичне (істинне) значення цільової змінної для i -го проєкту; $\hat{y}_i$ – прогнозоване значення, яке генерує модель для того ж i -го проєкту; $(y_i - \hat{y}_i)^2$ – квадрат різниці між фактичним і прогнозованим значенням тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Ця функція втрат (3.26) вимірює середню величину помилки, якої припускається модель під час прогнозування. Вона чутлива до великих відхилень і тим самим стимулює модель зменшувати великі помилки. У контексті наведеного аналізу саме ця функція використовувалась для оцінки ефективності навчання нейронних мереж.

Найменше значення функції втрат становить 0,0085 і було досягнуто для моделі з трьома прихованими шарами, архітектура якої дорівнює (50, 50, 50). Цей результат свідчить про найкраще узгодження моделі з тренувальними даними без перенавчання. Водночас, модель із архітектурою (100, 50), яка є двошаровою, показала трохи гірший результат із функцією втрат 0,0087, що, однак,

залишається прийнятним з огляду на зменшену складність мережі та меншу кількість параметрів.

Натомість модель із трьома прихованими шарами (200, 100, 50) досягла значення функції втрат 0,0098, що демонструє дещо гіршу узгодженість, незважаючи на вищу глибину й кількість параметрів. Такий результат може бути наслідком перенавчання або менш ефективного балансу між параметризацією та обсягом даних.

Найгірші результати були зафіксовані для моделей з архітектурами (100, 100, 100) та (150, 100, 50), де значення функції втрат становили відповідно 0,0109 та 0,0108. Високі втрати при одночасно великій кількості нейронів свідчать про надмірну складність моделей, що не сприяє покращенню точності навчання. Ймовірно, такі архітектури не лише не покращують результат, але й погіршують узгодженість із навчальними даними через складнішу оптимізацію ваг.

Узагальнюючи вищеподане, можна стверджувати, що серед досліджених архітектур моделей багатошарового перцептронну (MLP) найкращою за точністю та складністю моделі є архітектура (50, 50, 50). Це підтверджує доцільність вибору помірної глибини мережі при розв'язанні задачі прогнозування тривалості реалізації складних гібридних проєктів, особливо в умовах обмеженої кількості навчальних даних.

Таблиця 3.4 – Порівняння характеристик моделей MLP різних архітектур

№ моделі	Архітектура MLP	Кількість шарів	Кількість параметрів	Середня квадратична помилка, MSE
1	(100, 50)	2	10500	0,0196
2	(50, 50, 50)	3	7800	0,0193
3	(200, 100, 50)	3	21000	0,0195
4	(100, 100, 100)	3	18000	0,0207
5	(150, 100, 50)	3	17000	0,0170

Для подальшого удосконалення моделі використано функцію середньої квадратичної помилки MSE . Ми сформували таблицю 3.4, яка забезпечує порівняння характеристик вибраних архітектур моделей MLP для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

На рисунку 3.14 зображено гістограму, яка демонструє порівняння п'яти нейронних моделей типу MLP з різною архітектурою за значенням середньої квадратичної помилки (MSE).

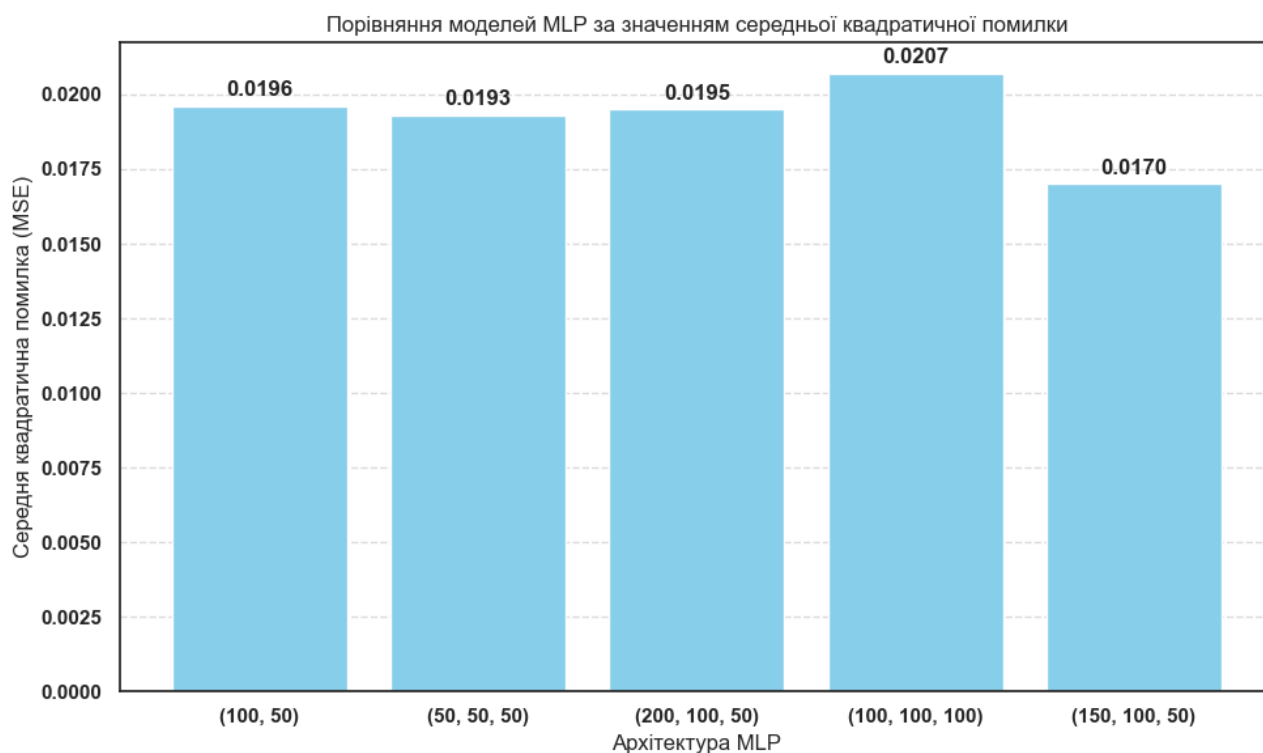


Рисунок 3.14 – Графік порівняння значень MSE для моделей MLP прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій різних архітектур

Встановлено, що найнижчий показник помилки спостерігається у моделі з архітектурою (150, 100, 50), яка має значення $MSE=0,0170$. Це свідчить про її кращу точність прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій. Найвищий показник помилки зафіксовано у моделі (100, 100, 100) – $MSE = 0,0207$, що свідчить про перенавчання або

надмірну складність архітектури. Решта моделей мають приблизно однакові значення помилки в діапазоні від 0,0193 до 0,0196, що вказує на стабільність, але нижчу ефективність порівняно з обраною архітектурою (150, 100, 50). Такий аналіз дає змогу обґрунтовано обрати оптимальну модель на основі кількісного критерію.

Формально, нехай $x \in \mathbb{R}^n$ – вхідний вектор ознак, $\hat{y} \in \mathbb{R}$ – прогнозована тривалість ліквідації НС. Модель MLP реалізує функцію:

$$\hat{y} = f(x; \theta) = W^{(L)} \sigma(W^{(L-1)} \dots \sigma(W^{(1)} x + b^{(1)}) \dots + b^{(L-1)}) + b^{(L)}, \quad (3.27)$$

де $\theta = \{W^{(l)}, b^{(l)}\}_{l=1}^L$ – параметри моделі; $\sigma(\cdot)$ – функція активації (ReLU).

Оптимізація параметрів здійснювалася за допомогою методу Adam з адаптивною швидкістю навчання, що дозволило ефективно уникати плато та локальних мінімумів у функції втрат (3.26).

Крім мінімізації помилок, була також реалізована візуалізація кривих навчання, яка підтвердила стабільне зменшення втрат без ознак перенавчання для кращих архітектур. Таким чином, вибір конкретних архітектур моделей MLP обґрунтовано не лише емпірично, а й концептуально, враховуючи особливості задачі прогнозування в умовах невизначеності та обмеженого обсягу ознак, а також необхідність подальшого використання моделі проєктними менеджерами для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Для подальшого аналізу якості прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій за обґрунтованою нейромережевою моделлю MLP із архітектурою (150, 100, 50) було використано набір класичних метрик: 1) середня абсолютна процентна помилка (MAPE); 2) середня процентна помилка (MPE); 3) середня відносна абсолютна помилка (MRAE). Їхні значення подано на рис. 3.15.

Середня абсолютна процентна помилка (MAPE) визначається за формулою:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\% , \quad (3.28)$$

де y_i – фактичне значення тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій; $\hat{y}_i$ – прогнозоване значення тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій; n – кількість спостережень у навчальній вибірці.

Цей показник (3.28) показує середній абсолютний відсоток помилки між прогнозом і реальними значеннями тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Середня процентна помилка (MPE) визначається за формулою:

$$\text{MPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right) \cdot 100\% . \quad (3.29)$$

Показник (3.29) дозволяє визначити напрямок помилки. Якщо позитивне значення вказує на систематичне заниження прогнозів, а від’ємне – на їх завищення.

Середня відносна абсолютна помилка (MRAE) визначається за формулою:

$$\text{MRAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{|y_i - \bar{y}|} . \quad (3.30)$$

де $\bar{y}$ – середнє значення фактичних значень y_i тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Цей показник (3.30) порівнює абсолютну помилку моделі з помилкою наївного прогнозу (середнього значення) і показує відносну ефективність.

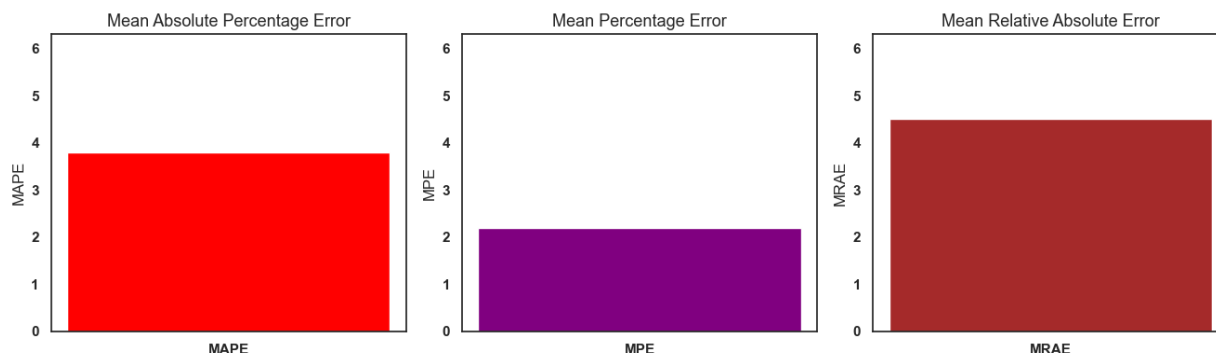


Рисунок 3.15 – Графік порівняння значень показників точності нейромережевої моделі MLP із архітектурою (150, 100, 50)

Усі три показники дають змогу оцінити точність та стабільність моделі прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Отриманий рисунок 3.15 ілюструє якісну оцінку роботи нейромережевої моделі MLP із архітектурою (150, 100, 50), яка забезпечила точність прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій на рівні 96,2%. Це відповідає значенню середньої абсолютної відсоткової помилки (MAPE) 3,8%, що вказує на високу узгодженість моделі з фактичними даними.

Середня процентна помилка (MPE) дорівнює 2.2%, а середня відносна абсолютна помилка (MRAE) становить 4,5%, що підтверджує збереження високої точності в умовах відносної зміни масштабів вхідних значень.

Ці метрики дають змогу однозначно стверджувати, що вибрана архітектура (150, 100, 50) нейронної мережі є ефективним засобом прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

Висновки до розділу 3

1. Розроблена структурна модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний

період передбачає потребу їх системного узгодження з проєктами відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури. Модель базується на шести базових складових (офіс управління проєктами, проєкти створення територіальних пожежно-рятувальних структур, відновлення транспортної інфраструктури, їх продукти та спільне динамічне проєктне середовище). Обґрунтовано, що модель дає змогу створити адаптивну систему проєктного управління, де основними об'єктами управління виступають управлінські процеси щодо узгодження множини дій у двох видах проєктів, а результат оцінюється не лише у термінах їх виконання, але й у вартості врятованих життів та обсягу збережених матеріальних цінностей.

2. Запропонована модель формування цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру передбачає п'ять етапів, які стосуються оцінки вигод для різних груп стейкхолдерів (населення громад, адміністрації громад, бізнес-структур, команди проєкту та держави), що відображають особливості формування та структуру цінностей, а також показники їх кількісної оцінки. Отримана модель є одним із важливих інструментів ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, що забезпечує прийняття ефективних управлінських рішень.

3. Розроблено метод оптимізації розташування пожежно-рятувальних формувань у післявоєнний період із використанням сучасних геоінформаційних систем. Він передбачає системне виконання 10 етапів, які базуються на використанні сучасних геоінформаційних систем, просторовому моделюванні та алгоритмі оптимізації для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо розташування пожежно-рятувальних формувань у післявоєнний період. Використання аналітичного інструментарію на основі фреймворку OpenStreetMap дозволяє узгоджувати територіальне розташування пожежно-рятувальних формувань із змінами у проєктному середовищі. Це дає змогу підвищити ефективність прийняття управлінських рішень, забезпечити

раціональне планування ресурсів, мінімізувати час реагування на надзвичайні ситуації та покращити безпеку об'єктів критичної інфраструктури в умовах обмежених ресурсів та динамічного проєктного середовища.

4. Проведений аналіз 366 записів даних ДСНС у Львівській області засвідчив, що середні часові показники повідомлення про настання надзвичайної події становлять 0,083 год та тривалість прибуття рятувальних формувань до місця надзвичайної події 0,35 год. У той же час тривалість реалізації гібридних проєктів варіюється від 0,017 до 1,6 год, що потребує попереднього очищення, нормалізації та видалення викидів даних і створення умов для точного прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

5. У результаті порівняння п'яти архітектур багатошарових перцептронів (MLP) найбільш ефективною виявилась модель з архітектурою (150, 100, 50), яка досягла найнижчої середньоквадратичної помилки $MSE = 0,0170$ та функції втрат 0,0108 на останній епосі. Така архітектура забезпечила точність прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів на рівні 96,2% і може бути рекомендована для впровадження в модулі підтримки прийняття управлінських рішень у сфері ліквідації надзвичайних ситуацій.

Розділ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ БАЗИ ДАНИХ ТА ЗНАНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТВОРЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ СТРУКТУР У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД

4.1. Результати узгодженої координації виконання робіт у проєктах створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури

У післявоєнний період особливої ваги набуває здатність проєктних офісів забезпечити узгоджене виконання взаємопов'язаних проєктів. Зокрема, це стосується проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних формувань та відновлення транспортної інфраструктури. Від своєчасності й ефективності реалізації цих проєктів залежить стан реагування на надзвичайні події, безпечне пересування техніки, а також збереження людського життя і матеріальних ресурсів. У цьому напрямі важливою складовою стає не лише окреме управління кожним із проєктів, а й їх інтегрована координація в часі та просторі.

Для узгодженої координації виконання робіт у проєктах створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури використано запропоновану структурну модель, яка продемонстрована у п. 3.1 цієї роботи.

Ми представили результати оцінювання системної реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури за допомогою узагальненого коефіцієнта координації $K(t)$, що враховує як темп виконання кожного проєкту, так і їх взаємну узгодженість. Отримані результати демонструють практичну доцільність виконання узгодженої координації виконання робіт у зазначених проєктах. Приклад узгодженої координації виконання робіт у проєктах створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Приклад узгодженої координації виконання робіт у проєктах створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури

Момент часу t реалізації проєктів	$S(t)$	$T_{cond}(t)$	$\frac{dS}{dt}$	$\frac{dT_{cond}}{dt}$	$K(t)$
2 місяці	0,15	0,30	0,12	0,32	0,045
5 місяців	0,45	0,65	0,18	0,25	0,293
8 місяців	0,75	0,85	0,11	0,12	0,638
11 місяців	0,90	0,95	0,06	0,05	0,855
14 місяців	0,98	0,99	0,015	0,01	0,970

На основі даних таблиці 4.1 схематично представлено залежність коефіцієнта $K(t)$ від часу t реалізації проєктів (рис. 4.1). При високому рівні координації крива $K(t)$ наближається до верхньої межі і становить $K(t)=1,0$.

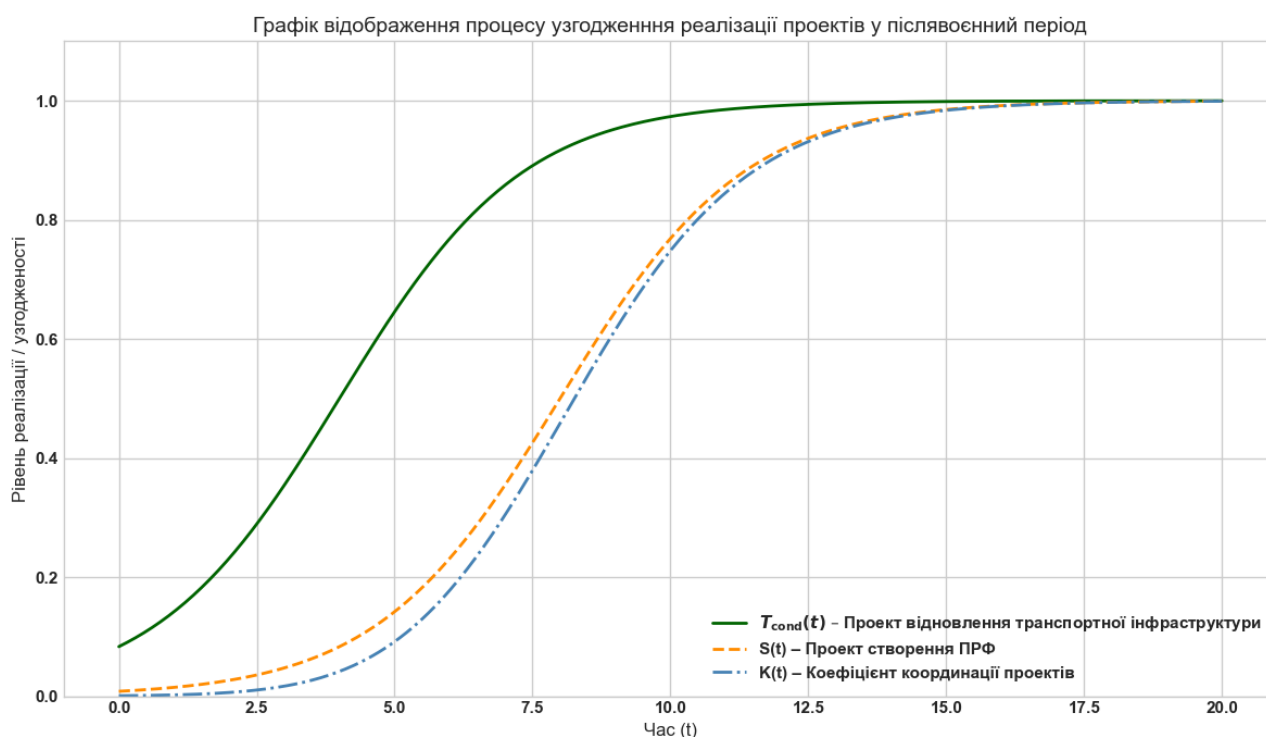


Рисунок 4.1 – Графічне відображення процесу узгодженої координації виконання робіт у проєктах створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури

Графічне відображення процесу узгодженої координації виконання робіт у проєктах (рис. 4.1) ілюструє стан трьох кривих, що відображають взаємодію між проєктами відновлення транспортної інфраструктури та створення територіальних пожежно-рятувальних формувань у післявоєнний період.

Крива $T_{cond}(t)$ демонструє поступове зростання рівня реалізації проєкту відновлення транспортної інфраструктури, експлуатація якої починається раніше (близько $t = 4$) і досягає рівня 0,9 на часовій позначці $t \approx 10$, оскільки транспортна інфраструктура має бути доступною першою для забезпечення мобільності пожежно-рятувальних структур.

Крива $S(t)$ відображає реалізацію проєктів створення пожежно-рятувальних структур, функціонування яких починаються пізніше ($t \approx 8$) і які досягають високого рівня реалізації лише після того, як транспортна інфраструктура стала функціональною. Це відображає реалістичну послідовність в узгодженому плануванні обох проєктів.

Крива $K(t)$ відображає коефіцієнт узгодженості між проєктами, який визначається як добуток $T_{cond}(t) \cdot S(t)$. Видно, що узгодженість залишається низькою до моменту, коли обидва проєкти синхронізуються ($t \approx 10..13$), після чого вона досягає максимуму $K(t) > 0.9$.

Представлений графік відображає важливість координованого офісом управління узгодження реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури. Його використовують проєктні менеджери для обґрунтування часових вікон пріоритетності в рамках інтегрованого планування зазначених проєктів в умовах післявоєнної відбудови.

У таблиці 4.2 наведено результати визначення залежності ефективності реалізації гібридних проєктів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій від рівня узгодження координації виконання робіт у проєктах створення територіальних пожежно-рятувальних структур та відновлення пошкодженої транспортної інфраструктури.

Таблиця 4.2 – Результати визначення ефективності реалізації гібридних проєктів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій від рівня узгодження координації виконання робіт у проєктах

Сценарій узгодження	Середній час реалізації гібридних проєктів ліквідації наслідків НС	Кількість доступних локацій, %	Оцінка ефективності, %
Повне узгодження	0,32	100	96,4
Часткове узгодження, 20% затримки	0,48	76	84,1
Неузгоджені проєкти	> 0,75	< 50	< 62,5

Отримані дані (табл. 4.2) вказують на те, що повне узгодження дій між проєктами створення пожежно-рятувальної інфраструктури та відновлення транспортної інфраструктури дозволяє досягти найвищого рівня ефективності. У цьому випадку середній час реалізації гібридних проєктів становить лише 0,32 год, забезпечується повний доступ до об'єктів, що потребують захисту, а загальна оцінка ефективності становить 96,4%. Це підтверджує гіпотезу про те, що досить важливим є управлінський процес узгодженої координації виконання робіт у зазначених проєктах у динамічному проєктному середовищі післявоєнного періоду.

Натомість навіть часткове порушення синхронізації (затримка хоча б на 20%) призводить до істотного падіння ефективності. Зокрема, час реалізації зростає до 0,48 год, доступність знижується до 76%, а загальна ефективність до 84,1%. У разі ж повної неузгодженості між проєктами створення пожежно-рятувальної інфраструктури та відновлення транспортної інфраструктури середній час перевищує 0,75 год, доступними залишаються менше половини об'єктів, а ефективність знижується до 62,5%.

4.2. Результати створення інформаційної системи та кількісної оцінки показників базової цінності проєктів створення територіальних аварійно-рятувальних структур

Для пришвидшення прийняття управлінських рішень щодо кількісного оцінення та візуалізації показників базової цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур було розроблено відповідну інформаційну систему мовою Python 3.11 (рис. 4.2).

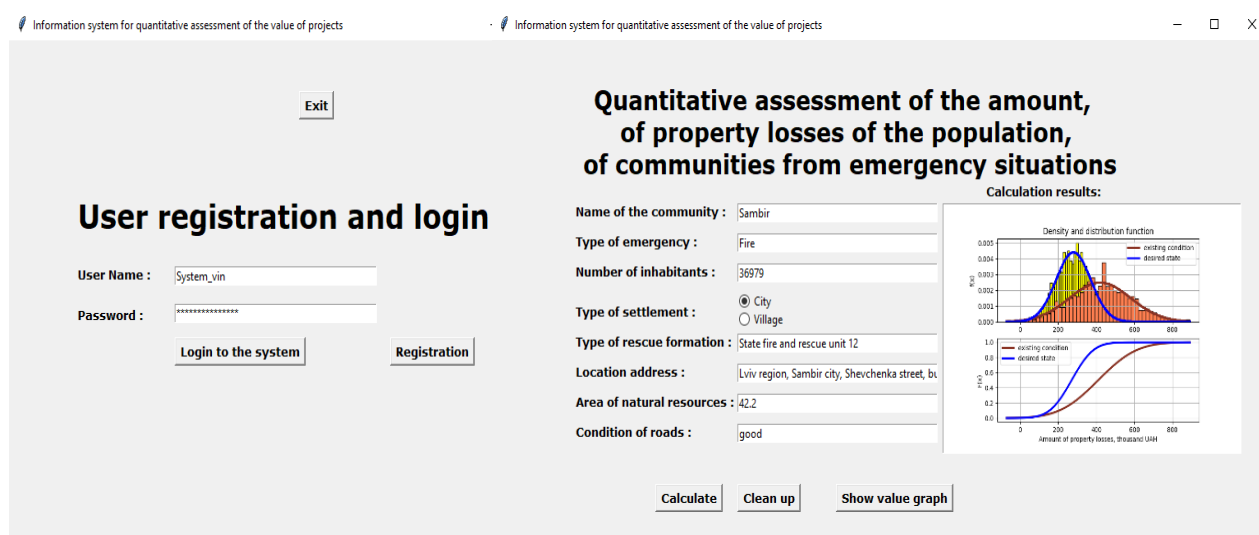


Рисунок 4.2 – Вікна інформаційної системи підтримки прийняття рішень для кількісної оцінки та візуалізації показників базової цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур

Інформаційна система підтримки прийняття рішень базується на запропонованій моделі та підході до формування цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру. Вона забезпечує врахування конкретних параметрів надзвичайних подій, кількості мешканців, характеристик інфраструктури й умов місцевості громади.

Запропонована система забезпечує реєстрацію користувачем, кількісну оцінку та візуалізацію показників базової цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур. Зокрема, головне вікно системи включає функціонал для реєстрації користувача, авторизації, введення ключових параметрів сценарію (тип надзвичайних ситуацій, кількість мешканців, рівень загроз, стан інфраструктури тощо), а також виводу результатів у вигляді числових оцінок та графічної інтерпретації. Це дозволяє не лише формалізувати процес прогнозування, а й адаптувати його до конкретних умов громади, що аналізується.

Система підтримки рішень виконує розрахунок математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення обсягу втрат майна населення, що дозволяє врахувати як середній рівень загроз, так і варіативність можливих сценаріїв. На основі отриманих результатів здійснюється побудова графіка функцій густини ймовірності втрат, що дає змогу краще зрозуміти розподіл ризиків та обґрунтовано ухвалювати проєктні рішення.

Система підтримки рішень розроблена з урахуванням практичних потреб фахівців органів місцевого самоврядування, проєктних команд та фахівців ДСНС. Її використання дозволяє не лише кількісно обґрунтовувати ефективність майбутніх рятувальних структур, а й формувати аналітичну базу для прийняття управлінських рішень у сфері безпеки громад у післявоєнний період.

Із використанням інформаційної системи підтримки прийняття рішень проведено кількісну оцінку показників базової цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для умов Самбірського району Львівської області на основі аналітичного опрацювання статистичних даних за 2018-2022 роки. Це дозволило побудувати залежність кількості втрат майна населення громади від тривалості прибуття рятувальних формувань для ліквідації надзвичайних ситуацій (рис. 4.3).

Аналіз залежності обсягу втрат майна населення громади від тривалості прибуття аварійно-рятувальних формувань засвідчив чітко виражену кореляцію між часом реагування та масштабами збитків. На основі графіка видно, що в разі

прибуття рятувальників протягом перших 15 хвилин (0:15) обсяг втрат здебільшого не перевищує 100...150 тис. грн. Після цього порогу спостерігається істотне зростання втрат – при затримці до 30 хвилин кількість втрат у багатьох випадках перевищує 300...400 тис. грн, а в окремих сплесках досягає 700...850 тис. грн.

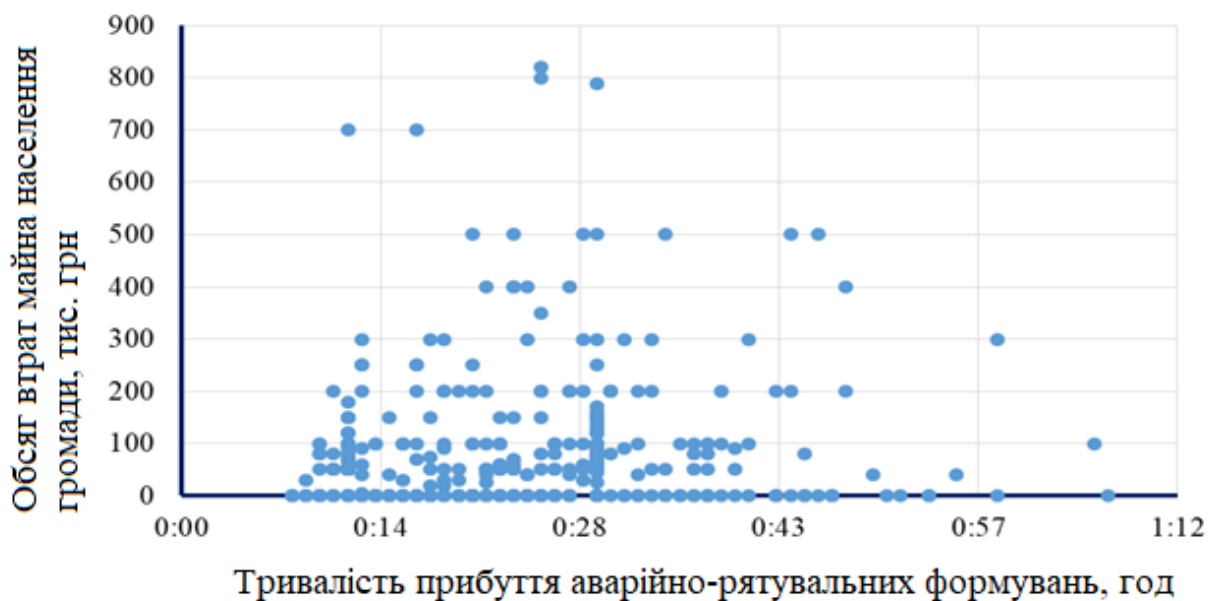


Рисунок 4.3 – Залежність обсягу втрат майна населення громади від тривалості прибуття аварійно-рятувальних формувань для ліквідації надзвичайних ситуацій

Найбільша концентрація точок спостерігається саме у межах 0:10...0:25, що свідчить про критичний часовий інтервал, у межах якого запізнення має найбільший вплив на зростання матеріальних втрат. Натомість після 45 хвилин (0:45) обсяг втрат або зменшується, або повністю нівелюється у зв'язку з вичерпанням потенціалу для рятувальних дій. При цьому знищено майно і ефективність прибуття рятувальників знижується до нуля.

На підставі вище викладеного ми сформулювали рекомендації для проєктних менеджерів на основі аналізу залежності втрат від часу прибуття рятувальників (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Рекомендації для проєктних менеджерів на основі аналізу залежності втрат від часу прибуття рятувальників

Час прибуття рятувальників	Середній обсяг втрат, тис. грн	Інтерпретація	Рекомендації
До 0:15	80...150	Найменші втрати, ефективне реагування	Забезпечити дислокацію ПРФ у межах 5–8 км до житлових масивів. Інвестувати в оптимізацію маршрутів
0:16 – 0:30	200...500	Висока ймовірність значних втрат	Застосовувати імітаційне моделювання для виявлення «сліпих зон» покриття
0:31 – 0:45	300...850	Критичний інтервал з піковими втратами	Неприйнятна тривалість. Варто змінити місця дислокації або додати резервні ПРФ
Понад 0:45	<100 або без змін	Реагування запізніле, втрати вже максимальні	Інформаційна підтримка та робота з наслідками, а не з мінімізацією втрат

Дані таблиці 4.3 свідчать про те, що досить важливим під час обґрунтування конфігурації продуктів проєктів є створення територіальних рятувальних структур на території громад, що забезпечить прибуття рятувальних підрозділів протягом перших 15 хвилин. У цьому часовому вікні вдається знизити обсяг матеріальних втрат більш ніж у двічі порівняно з інтервалом 16...30 хв. У зоні 0:31...0:45 фіксується найбільше точок із втратами понад 600 тис. грн., що свідчить про високу ймовірність неконтрольованого поширення пожеж чи вторинних ушкоджень.

Розміщення аварійно-рятувальних формувань має враховувати не лише географічну доступність, а й стан дорожньої інфраструктури, щільність забудови та потенційні ускладнення руху. У громадах, де час прибуття потенційно перевищує 30 хвилин, доцільним є створення мобільних резервних формувань, здатних оперативно реагувати у разі перевантаження основних станцій.

Реалізація наведених рекомендацій дозволить проєктним командам не лише оптимізувати конфігурацію продуктів проєктів створення територіальних рятувальних структур на території громад, а й зменшити загальні втрати майна населення громад під час виникнення надзвичайних ситуацій.

Таким чином, аналіз підтверджує, що ефективність проєктів створення рятувальних структур на пряму залежить від дислокації та здатності забезпечити швидкий початок ліквідації надзвичайної ситуації. Затримка навіть у 15...20 хвилин здатна призвести до втрат майна населення громад, які суттєво перевищують витрати на реалізацію проєктів створення територіальних рятувальних структур на території громад.

На основі отриманої залежності встановлено, що між досліджуваними показниками базової цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур, які характеризуються обсягом втрат майна населення громад від збільшення тривалості прибуття рятувальних формувань для ліквідації надзвичайної ситуації, існує слабкий кореляційний зв'язок. Це зумовлює використання інтелектуальних методів прогнозування показників базової цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур.

На основі моделювання та проведених розрахунків здійснено кількісну оцінку стохастичних характеристик обсягу втрат майна населення громади від окремих надзвичайних ситуацій за двома сценаріями – існуючого стану та бажаного стану, який буде отримано в результаті реалізації проєкту створення додаткового аварійно-рятувального формування (табл. 4.4).

У таблиці 4.4 наведено кількісні показники втрат майна населення громад за двома сценаріями – «існуючий стан» і «бажаний стан». За результатами математичного моделювання встановлено, що у поточних умовах середній

очікуваний обсяг втрат (математичне сподівання) становить 420,0 тис. грн. У разі досягнення бажаних параметрів функціонування рятувальних формувань цей показник зменшується до 280,23 тис. грн, тобто на 139,77 тис. грн, що відповідає зниженню втрат на понад 33%.

Таблиця 4.4 – Характеристики обсягу втрат майна населення громад від окремих надзвичайних ситуацій за різних сценаріїв діяльності аварійно-рятувальних формувань

Показник	Сценарій	
	існуючий стан	бажаний стан
Математичне сподівання обсягу втрат майна населення громади, тис. грн.	420,0	280,23
Середньоквадратичне відхилення обсягу втрат майна населення громади, тис. грн.	160,1	90,4

Ще більш показовим є зменшення середньоквадратичного відхилення – з 160,1 тис. грн у чинному сценарії до 90,4 тис. грн у бажаному. Це свідчить не лише про зниження загального рівня втрат, а й про зменшення варіативності збитків, що означає підвищену передбачуваність та стабільність системи безпеки громади.

За результатами дослідження побудовано розподіли обсягу втрат майна населення громад від окремих надзвичайних ситуацій за різними сценаріями функціонування аварійно-рятувальних формувань (рис. 4.4).

На рисунку 4.4 представлено дві ключові функції – щільність розподілу (вгорі) та функція накопиченого розподілу (внизу) обсягу втрат майна населення громад унаслідок надзвичайних ситуацій за умов існуючого стану та бажаного стану реагування рятувальних формувань.

Щодо щільності розподілу $f(x)$, то із графіка видно, що для існуючого стану характерне широке розтягнення кривої праворуч, що означає наявність великої кількості ситуацій із надзвичайно високими втратами – понад 600...700 тис. грн. Водночас, крива для бажаного стану має вузький концентрований пік, розташований приблизно в районі 280 тис. грн, що відповідає математичному сподіванню, зазначеному у попередньому аналізі. Це свідчить про більш керовану, стабільну та прогнозовану ситуацію, яка дозволяє уникати надмірних втрат майна населення громад.

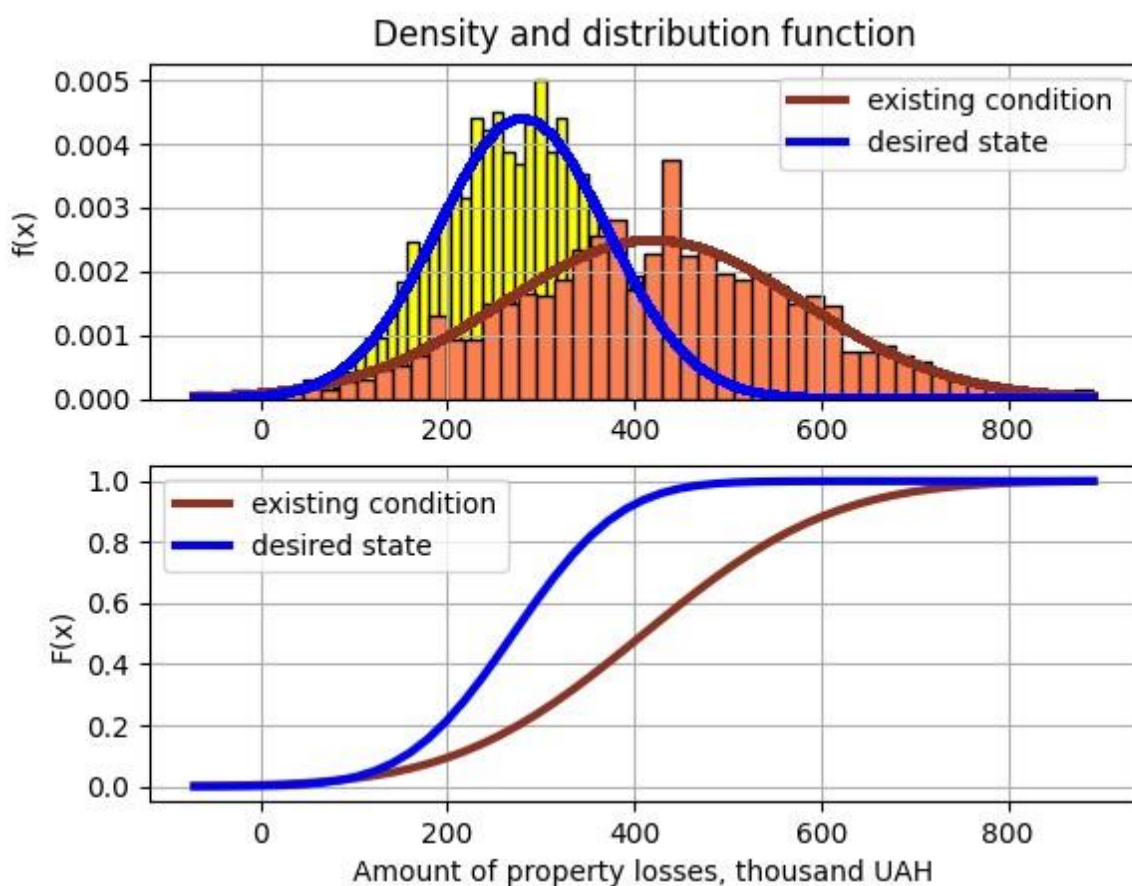


Рисунок 4.4 – Щільність та функція розподілу обсягу втрат майна населення громад від окремих надзвичайних ситуацій за різних сценаріїв діяльності аварійно-рятувальних формувань

Функція розподілу $F(x)$ на нижньому графіку чітко показує, що за бажаного сценарію понад 80% випадків втрат майна населення громад

залишається в межах 400 тис. грн, тоді як за існуючого сценарію цей самий рівень охоплює лише близько 55...60%. Це означає, що за ефективної конфігурації продуктів проєктів створення територіальних рятувальних структур на території громад суттєво скорочуються небажані наслідки від надзвичайних ситуацій.

Таблиця 4.5 – Рекомендації для проєктних менеджерів за результатами аналізу функцій щільності та розподілу втрат

Складова управління	Виклик	Рекомендовані проєктні дії
Управління ризиками втрат	Високе розсіювання значень втрат у поточному сценарії, наявність піків понад 700...800 тис. грн	Оптимізувати розташування аварійно-рятувальних формувань на основі карт ризику, передбачити місцеві резервні підрозділи.
Підвищення стабільності	Велика варіативність обсягу втрат, низька передбачуваність у динаміці	Розробити та реалізувати сценарії типових надзвичайних ситуацій з алгоритмами реагування, зменшуючи дисперсію втрат.
Багаторівнева система реагування	Недостатнє покриття територій у критичні періоди	Створити багаторівневу модель – локальні ПРФ, мобільні резерви, міжмуніципальні ресурси
Аналітична підтримка рішень	Наявні моделі не оновлюються, не враховують нові дані про загрози.	Застосовувати регулярне оновлення статистичних моделей, використовувати функції розподілу для оцінки ефективності.
Моніторинг крайніх значень	Часті випадки великих втрат (800+ тис. грн)	Проводити спеціальний аналіз таких інцидентів – оцінка слабких місць логістики, інфраструктури, координації дій

На підставі вищевикладеного ми сформулювали рекомендації для проєктних менеджерів за результатами аналізу функцій щільності та розподілу втрат (табл. 4.5).

Представлена таблиця 4.5 допомагає проєктним менеджерам структурувати управлінські рішення та адаптувати дії проєктних команд до умов конкретної громади з урахуванням ймовірнісного характеру втрат від надзвичайних ситуацій.

Таким чином, результати проведеного аналізу підтверджують ефективність обґрунтування бажаного сценарію реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур на території громад не лише з позиції зменшення середніх втрат майна населення, а й через суттєве підвищення прогнозованості. Для проєктних менеджерів це дає можливість більш точного планування бюджету проєктів, мінімізації надлишкових витрат та посилення довіри населення до системи їх захисту.

4.3. Результати оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів

На підставі використання запропонованого методу ми оптимізували розташування пожежно-рятувальних підрозділів на території Криворізького району Дніпропетровської області у післявоєнний період. Насамперед ми провели візуалізацію транспортної мережі Криворізького району Дніпропетровської області, отриману з OSM (рис. 4.6).

Густота вузлів та зв'язків між ними демонструє доступність різних населених пунктів Криворізького району, що є досить важливим для розміщення пожежно-рятувальних формувань. Отримані дані використаємо на наступних етапах для аналізу доступності об'єктів під час надзвичайних подій у окремих населених пунктах та пошуку оптимальних місць розташування пожежно-рятувальних формувань.

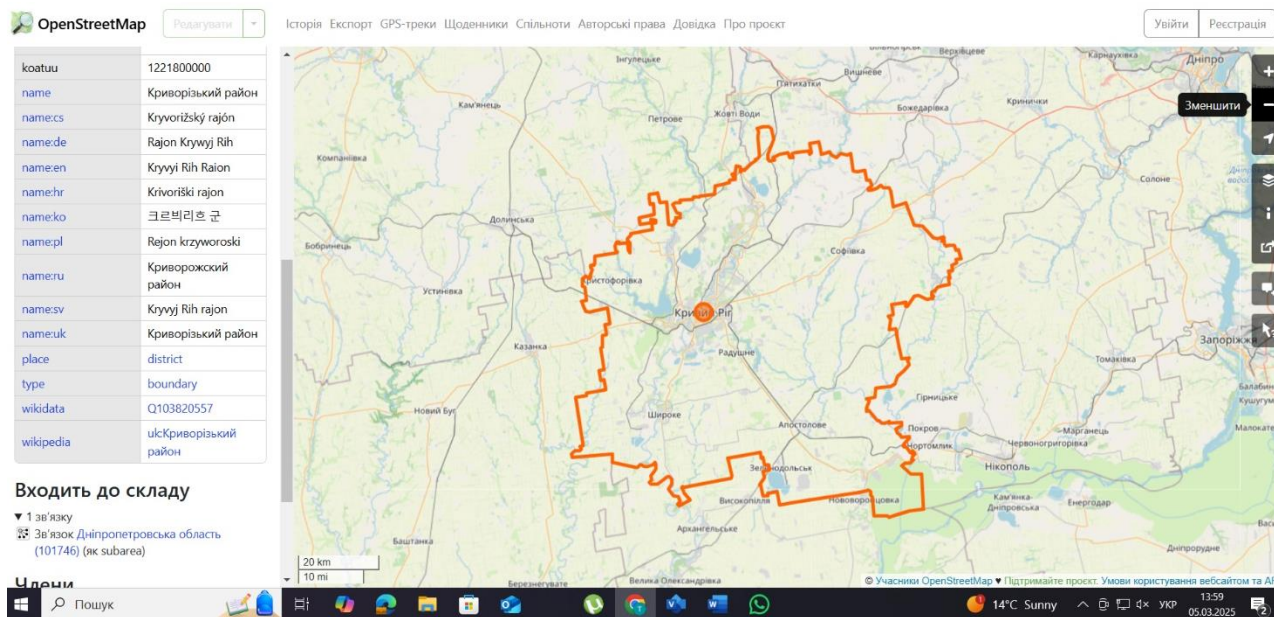


Рисунок 4.6 – Транспортна мережа Криворізького району Дніпропетровської області із сервісу OpenStreetMap [118]

Наступним кроком є відображення зон із важливими об'єктами критичної інфраструктури, що потребують підвищеного рівня захисту у разі виникнення надзвичайних ситуацій на території Криворізького району Дніпропетровської області (рис. 4.7).

Побудована карта з відображенням об'єктів критичної інфраструктури і дорожньої мережі на території Криворізького району Дніпропетровської області на підставі використання даних OpenStreetMap. Під час її створення автоматично завантажено функціональні дороги типу «drive», які використовуються для побудови графа дорожньої мережі. Потім із тієї ж самої території вибираємо об'єкти, що мають важливе значення для інфраструктури, зокрема лікарні, поліклініки, школи, дитячі садки, промислові та житлові зони тощо.

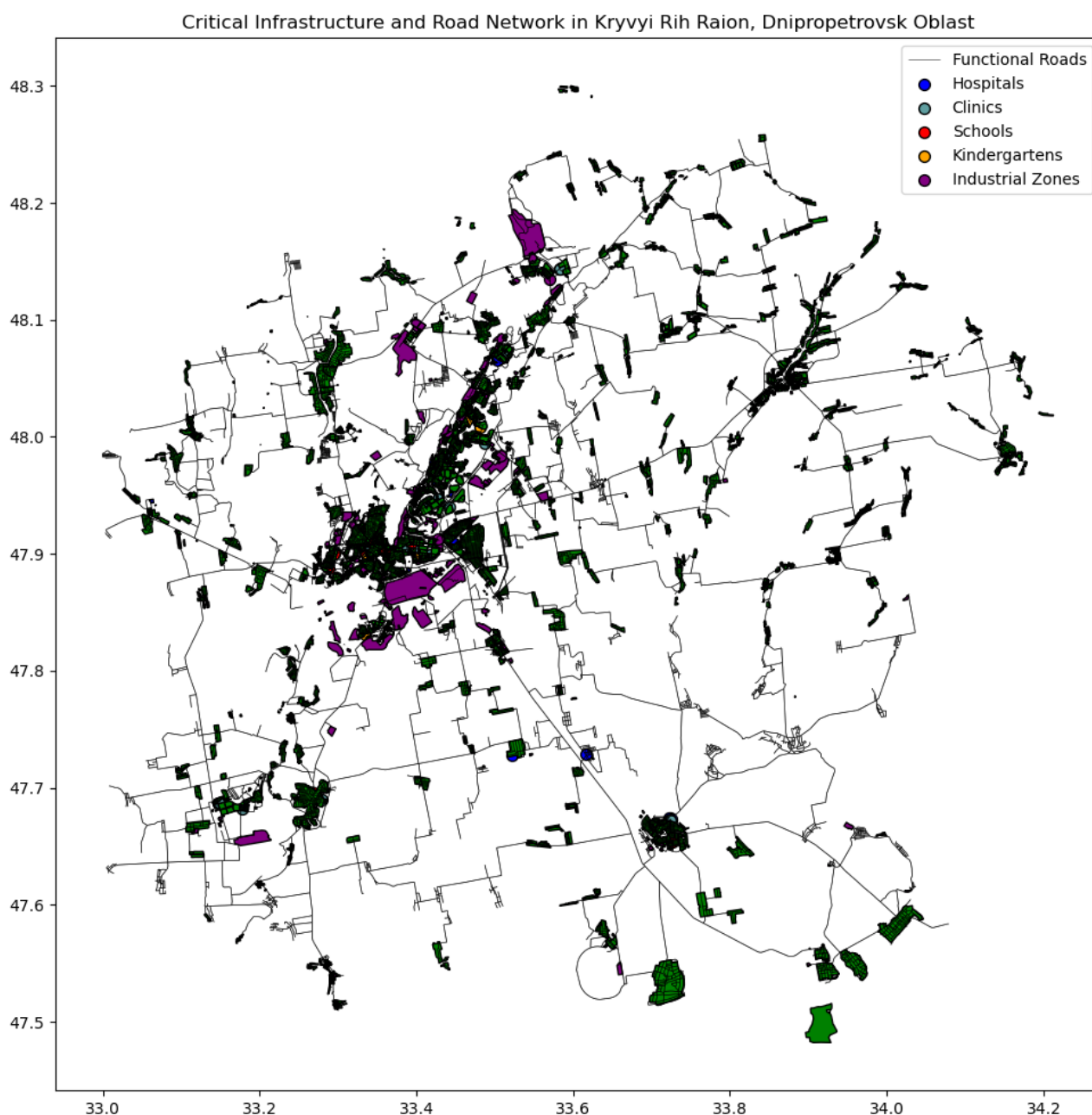


Рисунок 4.7 – Відображення зон із важливими об'єктами критичної інфраструктури, що потребують підвищеного рівня захисту у разі виникнення надзвичайних ситуацій на території Криворізького району Дніпропетровської області

Фрагмент відображення основних об'єктів критичної інфраструктури, що потребують підвищеного рівня захисту під час надзвичайних ситуацій на заданій території, представлено на рис. 4.8.

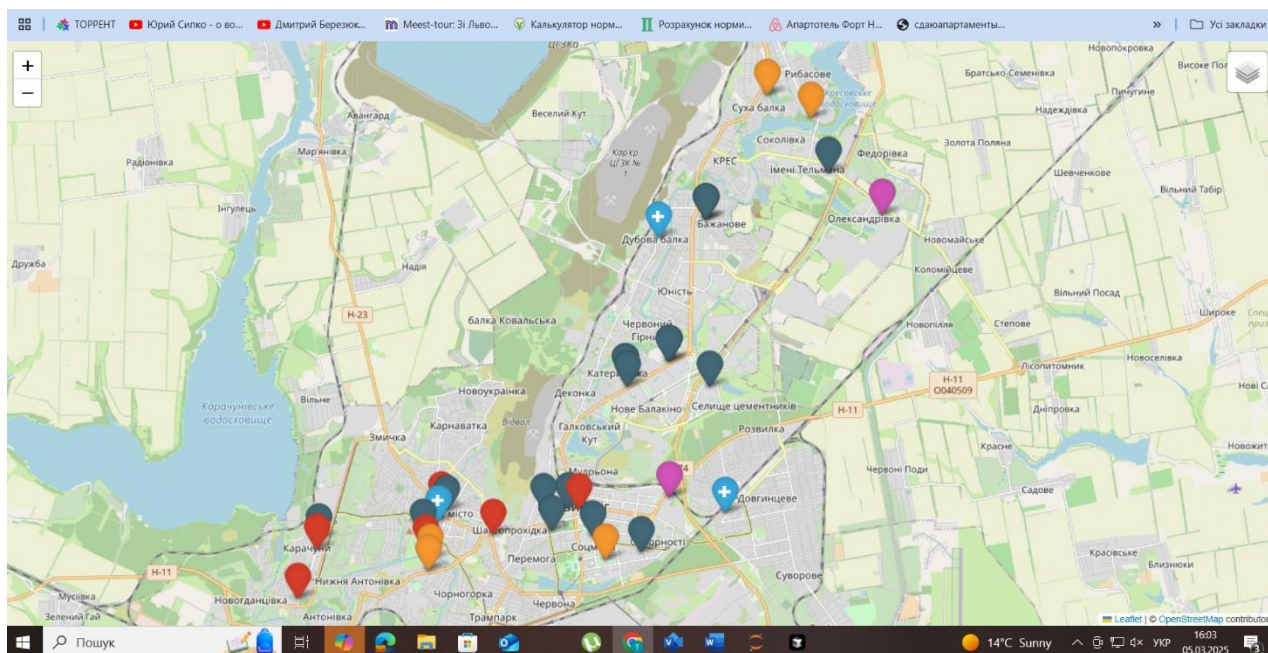


Рисунок 4.8 – Фрагмент відображення основних об’єктів критичної інфраструктури, які потребують підвищеного рівня захисту під час надзвичайних ситуацій на території Криворізького району Дніпропетровської області

Кожен тип об’єктів критичної інфраструктури відображено відповідним кольором, що дозволяє чітко розрізняти їх на карті. Далі всі елементи – дороги та об’єкти критичної інфраструктури – виводимо на карту з використанням бібліотеки Matplotlib. Завдяки цьому створюється зрозуміла та візуально насичена карта, яка дозволяє побачити просторове розташування важливих об’єктів критичної інфраструктури заданого району та доступ до них через дорожню інфраструктуру.

Потім формуємо один спільний датафрейм із даними про об’єкти критичної інфраструктури на території Криворізького району Дніпропетровської області (табл. 4.6).

Якщо назва об’єкта відсутня, вона замінюється на «Без назви». Далі визначимо розрахунок координат центру кожного об’єкта через переведення в метричну систему та повернення до географічної, що дозволяє точно визначити

довготу і широту. У результаті сформуємо таблицю з 2371 примірником, яка зберігається у CSV-файл із підтримкою кирилиці.

Таблиця 4.6 – Результати ідентифікації показників важливих об’єктів критичної інфраструктури на території Криворізького району Дніпропетровської області

	name	category	geometry		centroid	longitude	latitude
0	Дитяче відділення	Лікарня	POINT (33.72315 47.67421)	POINT (33.72315 47.67421)	33.723146	47.674210	
1	Кардіологія	Лікарня	POINT (33.72296 47.67388)	POINT (33.72296 47.67388)	33.722957	47.673883	
2	Наркологія	Лікарня	POINT (33.72549 47.67245)	POINT (33.72549 47.67245)	33.725490	47.672446	
3	Приймальне відділення	Лікарня	POINT (33.72285 47.67272)	POINT (33.72285 47.67272)	33.722853	47.672720	
4	Центр крові	Лікарня	POINT (33.72505 47.6731)	POINT (33.72505 47.6731)	33.725052	47.673096	
2366	Без назви	Житлова зона	POLYGON ((33.41278 47.89631, 33.40729 47.8957,...	POINT (33.40917 47.89722)	33.409174	47.897219	
2367	Без назви	Житлова зона	POLYGON ((33.44816 47.97067, 33.44806 47.97067...	POINT (33.44539 47.97111)	33.445387	47.971111	
2368	Без назви	Житлова зона	POLYGON ((33.43594 47.97176, 33.43548 47.97179...	POINT (33.43473 47.97465)	33.434729	47.974652	
2369	Без назви	Житлова зона	POLYGON ((33.49948 48.05657, 33.49954 48.05641...	POINT (33.50025 48.05627)	33.500251	48.056266	
2370	Без назви	Житлова зона	POLYGON ((33.41389 47.96688, 33.41428 47.9668,...	POINT (33.41453 47.96612)	33.414531	47.966118	

Надалі змодельємо пошкоджені елементи транспортної інфраструктури Криворізького району. Це є можливість створити набір даних із пошкоджених унаслідок військової агресії росії доріг та мостів (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Фрагмент даних про заблоковані об’єкти (дороги та мости) транспортної мережі заданої адміністративної території

	type	name	status	length_m	start_lon	start_lat	end_lon	end_lat
0	Дорога	вул. Незалежності	Пошкоджено	1388.8	33.36	47.91	33.370	47.915
1	Дорога	вул. Соборна	Зруйновано	1388.9	33.38	47.92	33.390	47.925
2	Дорога	вул. Гагаріна	Частково пошкоджено	1388.6	33.35	47.89	33.360	47.895
3	Міст	міст по вул. Першотравнева	Обвалений	648.2	33.42	47.93	33.425	47.932
4	Міст	міст через Інгулець	Зруйновано	648.3	33.44	47.95	33.445	47.952

Для кожного об’єкта вказується тип («Дорога» або «Міст»), назва, статус пошкодження (наприклад, «Пошкоджено», «Зруйновано», «Обвалений») і геометрія у вигляді лінії, що описує початок та кінець відрізка на місцевості. Всі об’єкти задаються у географічній системі координат WGS84 (EPSG:4326).

Після отримання даних для кожного заблокованого об'єкта (дороги та мости) транспортної мережі заданої адміністративної території розраховуємо координати початкової та кінцевої точки (довгота й широта), а також довжину лінії в метрах через перепроєкцію до метричної системи EPSG:3857.

Наприклад, довжина вулиці Незалежності, яка позначена як «Пошкоджено», становить 1388,8 метрів, тоді як довжина зруйнованого мосту через Інгулець – 648,3 метри. Загалом у таблиці зафіксовано 5 об'єктів, із яких 3 – дороги, а 2 – мости, з довжиною кожної дороги близько 1388,6...1388,9 метрів, а довжина мостів приблизно 648,2...648,3 метрів. Далі ці дані зберігаються у файл CSV з підтримкою кирилиці, щоб їх можна було використовувати в подальших GIS-аналізах.

Надалі моделюємо покриття об'єктів критичної інфраструктури зонами дії пожежно-рятувальних формуванням (ПРФ) на території Криворізького району Дніпропетровської області. Усього було завантажено 2371 об'єкт критичної інфраструктури з CSV-файлу, кожен із яких має координати, тип та назву. Об'єкти автоматично прив'язуються до найближчих вузлів дорожнього графа, згенерованого на основі OpenStreetMap.

Ми розглянули 9 сценаріїв реалізації проєктів розбудови системи безпеки на території Криворізького району. Вони передбачають розташування від 1 до 9 ПРФ. Для визначення розміщення ПРФ використано кластеризацію методом К-середніх. У нашому випадку попередньо задається від 1 до 9 кластерів і формується зона дії кожного із ПРФ. Під час оптимізаційних розрахунків прийнято діючі регламенти [19]. Зокрема, швидкість руху рятувальних формувань до об'єктів становить 45 км/год, час прибуття – до 20 хвилин, що забезпечує визначення радіуса покриття у перерахунку на відстань. Центр кожного ПРФ визначається як середнє географічне положення об'єктів критичної інфраструктури, що належать до кластеру. Після цього ми розрахували кількість об'єктів критичної інфраструктури, що розташовані в межах досяжності ПРФ по дорогах. Отримані результати представлено у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Результати визначення показників зони дії пожежно-рятувальних формувань за різних сценаріїв реалізації проєктів розбудови системи безпеки на території Криворізького району

Сценарій розташування ПРФ	Кількість ПРФ, од	Середній час проходження маршруту від місця розташування ПРФ до об'єкта критичної інфраструктури, хв	Максимальна відстань до об'єктів критичної інфраструктури, км	Кількість об'єктів у зоні дії ПРФ, од	Відсоток захищених об'єктів у межах норми, %
I	1	16,15	15,00	431	18,2
II	2	9,74	14,98	996	42,0
III	3	11,50	14,98	1169	49,3
IV	4	10,24	14,97	1035	43,7
V	5	10,71	14,99	1501	63,3
VI	6	11,21	14,99	1657	69,9
VII	7	11,13	15,00	2097	88,4
VIII	8	11,31	14,98	2095	88,4
IX	9	11,05	15,00	2279	96,1

У наведеній таблиці 4.8 представлено показники оптимізації зони дії пожежно-рятувальних формувань за дев'яти сценаріїв реалізації проєктів розбудови системи безпеки на території Криворізького району. Встановлено, що захисту потребує 2371 об'єкт критичної інфраструктури. У першому сценарії завдяки розташуванню однією ПРФ вдалось охопити відповідно до нормованих показників захисту лише 431 об'єкт, що становить 18,2% від загальної кількості, при середньому часі прибуття ПРФ 16,15 хв і максимальній відстані 15,0 км.

У другому сценарії, де кількість ПРФ збільшено до двох, захищено вже 996 об'єктів або 42,0%, а середній час зменшився до 9,74 хв. Найвищого показника покриття досягнуто у дев'ятому сценарії з дев'ятьма ПРФ, де захищено 2279 об'єктів (96,1%) із середнім часом прибуття 11,05 хв. Значне покращення спостерігається вже при п'яти ПРФ (сценарій 5), коли захищено 1501 об'єкт, що становить 63,3%. У сценаріях із шістьма, сімома та вісьмома ПРФ рівень захищеності поступово зростає до 69,9%, 88,4% і 88,4% відповідно. Максимальна відстань до об'єктів критичної інфраструктури у всіх сценаріях не перевищує 15,0 км.

Потім ми оптимізували сценарій реалізації проєкту розбудови системи безпеки на території Криворізького району Дніпропетровської області у післявоєнний період. Результати представлено на рис. 4.9.

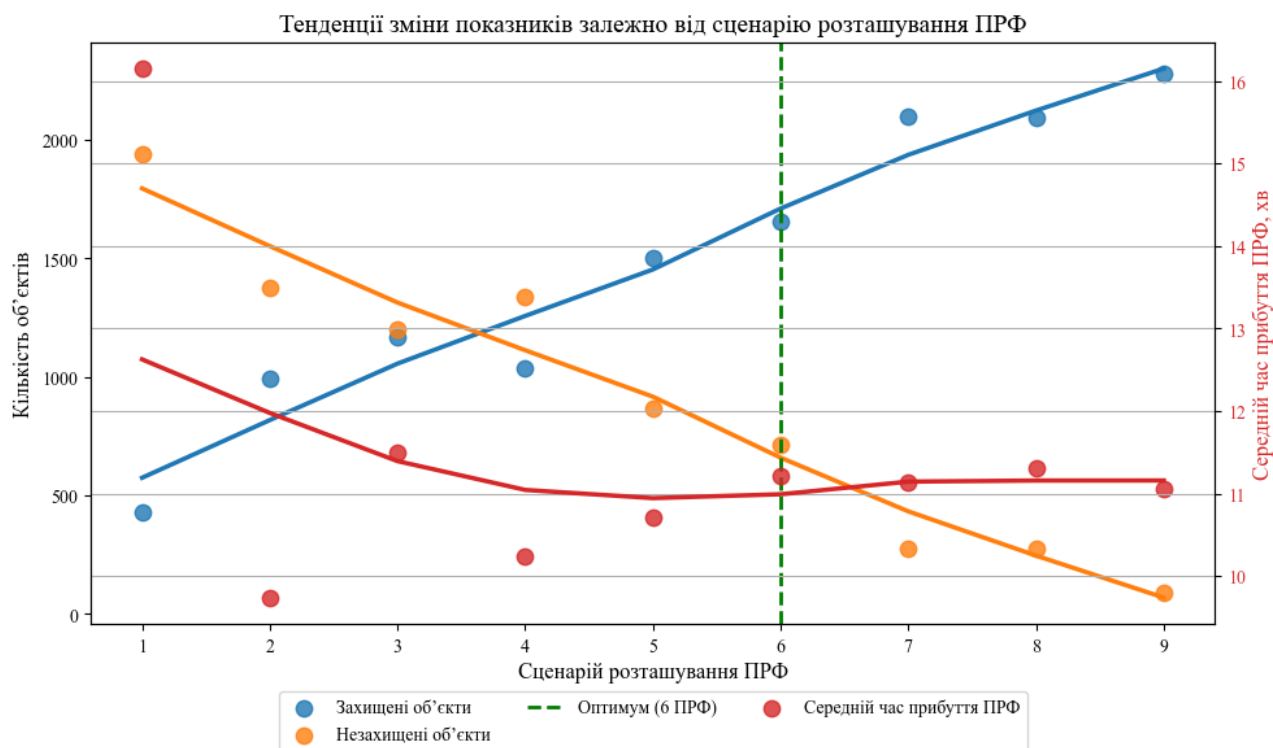


Рисунок 4.9 – Результати оптимізації сценарію реалізації проєкту розбудови системи безпеки на території Криворізького району Дніпропетровської області у післявоєнний період

На рисунку 4.9 подано результати оптимізації сценарію реалізації проєкту розбудови системи безпеки на території Криворізького району. Встановлено, що зі збільшенням кількості ПРФ з 1 до 9 одиниць спостерігається чітка тенденція до зростання кількості захищених об'єктів критичної інфраструктури. Відповідно захищеними є від 431 об'єктів критичної інфраструктури у I сценарії до 2279 об'єктів критичної інфраструктури у IX сценарії. У IX сценарії захищеними є 96,1% об'єктів критичної інфраструктури від загальної кількості (2371 од.). При цьому кількість незахищених об'єктів зменшується з 1940 од. до лише 92 од. Середній час прибуття ПРФ до об'єктів поступово знижується з 16,15 хв у сценарії I до 11,05 хв у сценарії IX. Оптимальним вважається сценарій VI, що передбачає розміщення шести ПРФ. При цьому, середній час прибуття ПРФ до об'єктів становить 11,21 хв, а також досягається охоплення 1657 об'єктів критичної інфраструктури. Тобто, захищеними у межах нормативів є майже 70% об'єктів критичної інфраструктури у районі. Далі зі зростанням кількості ПРФ приріст кількості захищених об'єктів критичної інфраструктури є менш інтенсивним.

4.4. Результати використання нейромережевої моделі для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

На основі обґрунтованої нейромережевої моделі MLP із архітектурою (150, 100, 50) для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій було проведено прогнозування тривалості реалізації проєктів з ліквідації надзвичайних ситуацій (рис. 4.10).

На рисунку 4.8 зображено графіки порівняння фактичних значень та прогнозних значень тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, отриманих за допомогою нейромережевої моделі MLP з архітектурою (150, 100, 50). На осі абсцис позначені умовні порядкові номери

даних (Data Point), а на осі ординат – значення тривалості ліквідації у годинах. Синя лінія відображає фактичні значення, тоді як помаранчева лінія – результати моделювання.

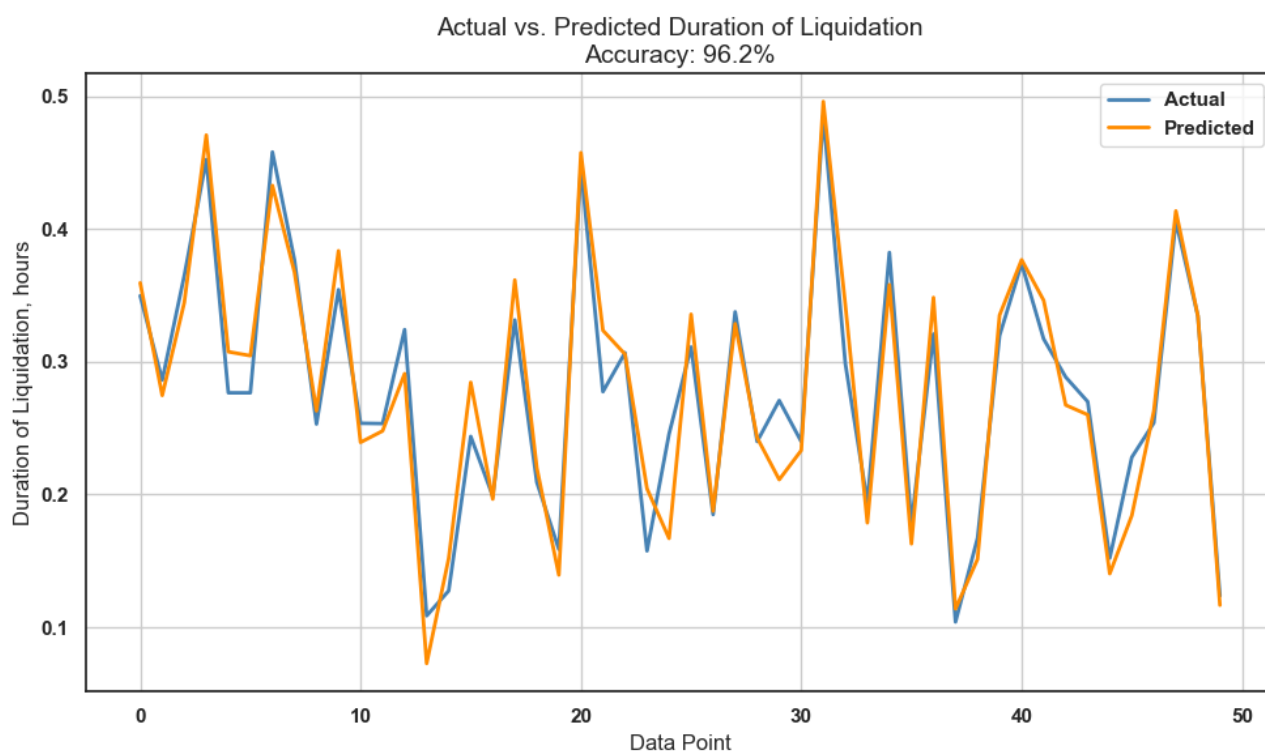


Рисунок 4.10 – Графіки порівняння фактичних та прогнозованих значень тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

Візуально спостерігається висока відповідність між фактичними та прогнозованими значеннями тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, що підтверджується загальним рівнем точності моделі на рівні 96,2%. Цей показник було розраховано на основі метрики середньої абсолютної процентної помилки (MAPE), що становить приблизно 3,8%, тобто похибка моделі не перевищує меж, прийнятних для систем підтримки прийняття рішень.

Більшість точок на графіку розташовані в інтервалі 0,2...0,4 години, що характерно для основної маси досліджуваних сценаріїв. Максимальні розбіжності між реальними та прогнозованими значеннями спостерігаються в

поодиноких випадках – зокрема, у 14-му та 33-му прикладах, де прогнозна крива трохи відхиляється від фактичної.

Таким чином, побудований графік підтверджує стабільну здатність моделі MLP точно відтворювати закономірності у вхідних даних та з мінімальною похибкою прогнозувати тривалість реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій. Це забезпечує її придатність до практичного застосування у відповідних умовах управлінської діяльності проєктних менеджерів.

На підставі використання обґрунтованої нейромережевої моделі ми дослідили та побудували тривимірну модель залежності прогнозованої тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій (Liquidation Duration) від двох основних складових зазначених проєктів – тривалості прибуття рятувального підрозділу до місця події (Arrival Duration) та тривалості локалізації надзвичайної ситуації (Localization Duration). Для побудови використано множину емпіричних точок (позначено червоним), а також площину регресії, що відображає тренд моделі на основі даних.

З аналізу отриманої моделі (рис. 4.11) видно чітку пряму залежність між вхідними змінними та цільовим показником. Зокрема, збільшення часу прибуття рятувальників з мінімального значення 0,13 год до максимуму 0,75 год, а також тривалості локалізації з 0,017 год до 1,45 год, прямо призводить до зростання прогнозованої тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій. Згідно з моделлю, за одночасного підвищення обох чинників на верхню межу, прогнозована тривалість ліквідації зростає до 0,6...0,8 год. Натомість, при оптимальних значеннях локалізації $\leq 0,1$ год і прибуття $\leq 0,2$ год, ліквідація в середньому триває всього 0,2 год, що вдвічі ефективніше характеризує реалізацію гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій.

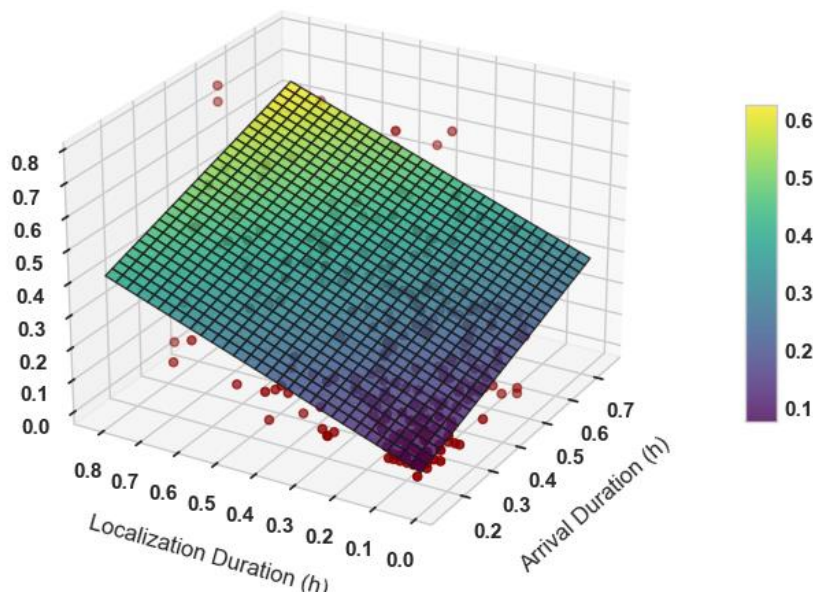


Рисунок 4.11 – Тривимірна модель залежності прогнозованої тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій (Liquidation Duration) від тривалості прибуття рятувального підрозділу до місця події (Arrival Duration) та тривалості локалізації надзвичайної ситуації (Localization Duration)

Отримана закономірність підтверджується і коефіцієнтами регресійної площини, які зберігають позитивні градієнти в обох напрямках, відображаючи важливість своєчасного реагування та ефективної координації дій підрозділів.

На основі аналізу 3D-моделі залежності прогнозованої тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій від часу прибуття рятувального підрозділу та тривалості локалізації розроблено рекомендації для проєктних менеджерів (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 узагальнює основні управлінські рішення, які слід використовувати на основі побудованої регресійної моделі. Для кожного пункту наведено числові обґрунтування на основі просторового аналізу змінних. Зокрема, зменшення часу локалізації до 0,1 год, або ж 6 хв, потенційно скорочує загальний час прогнозованої тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій з понад 0,6 до 0,2 год.

Таблиця 4.9 – Рекомендації для проєктних менеджерів на основі використання нейромережевої моделі для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

№	Рекомендація	Обґрунтування на основі моделі
1	Скорочення часу прибуття рятувального підрозділу до $<0,2$ год	За зменшення часу прибуття з 0,5 до 0,2 год прогнозована тривалість реалізації гібридних проєктів знижується з 0,5 до 0,2 год
2	Забезпечення локалізації надзвичайної події $\leq 0,1$ год	Якщо локалізація надзвичайної події триває до 0,1 год, ліквідація завершується на 30...50% швидше
3	Пріоритетне розташування пожежно-рятувальних формувань поблизу вразливих об'єктів	Висока варіативність часу прибуття (від 0,13 до 0,75 год) суттєво впливає на загальну тривалість реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій
4	Встановлення цільових нормативів прибуття і локалізації	Оптимізація обох показників у межах медіан (0,35 год і 0,22 год відповідно) забезпечує стабільну тривалість реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій
5	Використання моделі прогнозування і управління подіями	Впровадження моделі прогнозування дозволяє компенсувати затримки і запобігти зростанню тривалості гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

Це підтверджує важливість підвищення ефективності кожного етапу гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій та встановлення чітких нормативів.

Висновки до розділу 4

1. На основі розроблених моделей та інформаційної системи проведено кількісну оцінку показників базової цінності реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур з урахуванням стану проєктного середовища. Встановлено, що між досліджуваними показниками базової цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур, які характеризують кількість майнових втрат населенням громад та тривалість прибуття рятувальних формувань для ліквідації надзвичайної ситуації, існує слабкий кореляційний зв'язок, що зумовлює використання інтелектуальних методів прогнозування показників базової вартості проєктів створення територіальних рятувальних структур. Обґрунтовані розподіли кількості майнових втрат населення громади від окремих надзвичайних ситуацій свідчать про те, що реалізація проєкту зі створення додаткового рятувального формування забезпечить зменшення втрат майна громади на 33,2%.

2. На підставі використання запропонованого методу ми оптимізували розташування пожежно-рятувальних підрозділів на території Криворізького району Дніпропетровської області у післявоєнний період. Встановлено, що оптимальним вважається сценарій VI, який передбачає розміщення шести ПРФ. За цього сценарію середній час прибуття ПРФ до об'єктів становить 11,21 хв. Також при сценарії VI досягається охоплення 1657 об'єктів критичної інфраструктури. Тобто, захищеними у межах нормативів є майже 70% об'єктів критичної інфраструктури. Надалі зі зростанням кількості ПРФ приріст кількості захищених об'єктів критичної інфраструктури є менш інтенсивним.

3. Встановлено, що нейромережева модель MLP з архітектурою (150, 100, 50) продемонструвала здатність точно прогнозувати тривалість реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, відображаючи близькість між фактичними та передбаченими значеннями (рис. 4.8). На основі запропонованої нейромережевої моделі MLP побудовано 3D-модель, яка підтвердила існування прямого зв'язку між тривалістю реалізації гібридних

проектів ліквідації надзвичайних ситуацій та тривалістю прибуття рятувальних формувань і локалізації надзвичайної події. Встановлено, що за збільшення тривалості прибуття рятувальних формувань до 0,75 год і локалізації надзвичайної події до 1,45 год, прогнозована тривалість реалізації гібридних проектів ліквідації надзвичайних ситуацій зростає до 0,8 год, тоді як при оперативному реагуванні (прибуття $\leq 0,2$ год, локалізація $\leq 0,1$ год) вона знижується до 0,2 год. Такі результати підтверджують доцільність використання запропонованої моделі у практиці управління гібридними проектами ліквідації надзвичайних ситуацій, а для проєктних менеджерів розроблено рекомендації, що забезпечать підвищення ефективності реалізації зазначених проєктів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Дисертаційна робота спрямована на вирішення актуальної науково-прикладної задачі – підвищення ефективності реалізації проєктів розвитку безпекової інфраструктури територій та громад у післявоєнний період шляхом створення нових і вдосконалення наявних моделей та методів, які засновані на сучасних інформаційних технологіях, геоінформаційних системах, методах машинного навчання, що інтегруються у системи підтримки прийняття управлінських рішень.

До основних науково-практичних результатів дисертаційної роботи належать:

1. Проведений аналіз поточного стану предметної області, сучасних наукових підходів і практик управління проєктами дозволив встановити нагальну потребу у створенні нових та вдосконаленні існуючих моделей і методів управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Встановлено, що обґрунтування ціннісно-гібридного підходу та на його основі розроблення моделей і методів управління проєктами створення пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період підвищує ефективність управління зазначеними проєктами завдяки врахуванню динамічності та багатофакторності проєктного середовища, що забезпечує гнучкість у прийнятті управлінських рішень та врахування інтересів усіх зацікавлених сторін.

2. Обґрунтовано доцільність та специфіку ціннісно-гібридного підходу до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур, що лежить в основі розробки відповідних моделей і методів для управління цими проєктами у післявоєнний період. Запропонований ціннісно-гібридний підхід до управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період базується використанні аналітичних інструментів просторового аналізу з управлінської логіки стратегічного планування, що забезпечує узгодження конфігурації проєктів із

реальними потребами громад та динамічним проєктним середовищем, а також дає змогу швидко адаптувати управлінські рішення до актуального стану територій у післявоєнний період.

3. Розроблено структурну модель системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, яка базується на 6 базових складових, що дають змогу створити адаптивну систему проєктного управління. Удосконалено ціннісно-гібридний метод обґрунтування раціональної конфігурації територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, який передбачає системне виконання 10 етапів та базується на використанні фреймворку OpenStreetMap, просторовому моделюванні та алгоритмі оптимізації. Вони забезпечують підвищення ефективності прийняття управлінських рішень, раціональне планування ресурсів, мінімізацію часу реагування на надзвичайні ситуації та покращення безпеки об'єктів критичної інфраструктури в умовах обмежених ресурсів та динамічного проєктного середовища.

4. Удосконалено модель формування цінності проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру, що на відміну від існуючих базується на врахуванні особливостей та структури цінностей у післявоєнний період. Розроблено нейромережеву модель прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій, яка базується на обґрунтованій архітектурі багатошарового перцептронну (MLP) завдяки оптимізації її параметрів із використанням методу Adam із адаптивною швидкістю навчання. Вони забезпечують підвищення точності оцінки специфічних вигод для різних груп стейкхолдерів та процесу прогнозування, а також лежать в основі створення модулів для відповідної системи підтримки прийняття управлінських рішень.

5. На основі розроблених моделей та методів обґрунтовано базу знань для ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період. Обґрунтовані розподіли

обсягу майнових втрат населення громади від окремих надзвичайних ситуацій свідчать про те, що реалізація проекту зі створення додаткового рятувального формування забезпечить зменшення цих втрат на 33,2%. Встановлено, що за збільшення тривалості прибуття рятувальних формувань до 0,75 год і локалізації надзвичайної події до 1,45 год, прогнозована тривалість реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій зростає до 0,8 год, тоді як при оперативному реагуванні (прибуття $\leq 0,2$ год, локалізація $\leq 0,1$ год) вона знижується до 0,2 год. Такі результати підтверджують доцільність використання запропонованого інструментарію у практиці управління проєктами, а для проєктних менеджерів розроблено рекомендації, що забезпечать підвищення ефективності реалізації зазначених проєктів.

6. Розроблений управлінський інструментарій упроваджено у діяльність Головного управління ДСНС України у Львівській області, що дало змогу автоматизувати процеси ціннісно-гібридного управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період на основі використання розроблених алгоритмів та програмних модулів. Запропоновані у дисертаційній роботі методика та практичні рекомендації враховують динамічний характер післявоєнного проєктного середовища, обмежені ресурси, зміни структури громад і утворення нових зон підвищеного ризику, що забезпечує підвищення точності прийняття управлінських рішень та ефективності проєктного управління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз проєкту плану післявоєнного відновлення України та рекомендації Екодії [Електронний ресурс]. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2022/07/plan-pislyavoen-vidnov-luhano-rekomend-ekodii.pdf>
2. Бабенко Д. М. Аналіз наукових досліджень щодо організації заходів цивільного захисту в умовах воєнного стану. Інвестиції: практика та досвід, 2024. № 3, pp. 176–190, DOI: <https://doi.org/10,32702/2306-6814.2024.3.176>.
3. Блог YC.Market. Дослідження ринку та конкурентий аналіз. URL: <https://blog.youcontrol.market/rozvitok-transportu-i-loghistiki-v-ukrayini/>
4. Бушуєв С. Д., Козир Б. Ю. Інноваційні механізми управління програм розвитку морських транспортних кластерів. *Управління розвитком складних систем*. 2011. Вип. 7. С. 5-7.
5. Верховна Рада України. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>
6. Демчина В. Р., Ратушний А. Р. Модель та результати оцінення стану населених пунктів під час реалізації проєктів розвитку транспортної інфраструктури у післявоєнний період. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 2024, Вип. 1(144), 46-53. <https://doi.org/10,32782/1995-0519.2024.1.6>
7. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. *Офіційний портал*. URL: <https://dsns.gov.ua/>
8. Жовтяк Г.А. Теоретико-методичні підходи до визначення поняття «транспортна інфраструктура регіону». Ефективна економіка. 2011. № 11.
9. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія / Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2014. 492 с.

10. Зачко І. Г., Кобилкін Д. С., Зачко О. Б. Гібридні технології управління інфраструктурними проєктами та програмами : монографія. Львів : СПОЛОМ, 2022. 266 с.
11. Зачко О. Б. Моделі та методи безпеко-орієнтованого управління проєктами розвитку складних систем: методологічний підхід. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. № 2 (1174). С. 86-90,
12. Зачко О. Б., Івануса А.І., Кобилкін Д.С. Управління проєктами: теорія, практика, інформаційні технології. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. 173 с.
13. Іксарова Н.О. Транспортна інфраструктура як компонент економічної безпеки України. *Економічний простір*. 2010, 36, С. 55–61.
14. Кабінет Міністрів України. Стратегія реформування системи цивільного захисту до 2030 року. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennia-stratehii-reformuvannia-systemy-tsyvilnoho-zakhystu-do-2030-roku>
15. Крижановський Є. М., Мокін В.Б., Ящолт А.Р., Скорина Л.М. Системний аналіз та проєктування ГІС. Вінниця : ВНТУ, 2015. 127 с.
16. Кудрицька Н.В. Транспортно-дорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку: монографія. Київ : НТУ, 2010, 338 с.
17. Лучникова Т. П., Тарновська І. В., Воробйов Є. В. Адаптація транспортних підприємств України до умов воєнного стану. *Бізнес Інформ*. 2023. № 1. С. 116–122
18. Методичні рекомендації для органів місцевого самоврядування щодо організації та забезпечення пожежної безпеки на території об'єднаних територіальних громад. Київ, 2016. 32 с. URL: <https://hromady.org/> (дата звернення: 31.03.2025).
19. Методичні рекомендації для органів місцевого самоврядування щодо організації та забезпечення пожежної безпеки на території об'єднаних

територіальних громад. Київ, 2016. 32 с. URL: <https://hromady.org/> (дата звернення: 31.03.2025).

20. Міністерство інфраструктури України: Офіційний сайт. URL: <https://mtu.gov.ua/>

21. Міністерство фінансів України. Методичний посібник щодо аспектів управління ризиками, як складової системи внутрішнього контролю у розпорядника бюджетних коштів URL: https://mof.gov.ua/storage/files/дод_%203%20Методичний%20посібник%20щодо%20аспектів%20управління%20ризиками.pdf

22. Муніципальна реформа в контексті євроінтеграції України: позиція влади, науковців, профспілок та громадськості: Тези доповідей Сьомої щорічної всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Київ, 25 серпня 2023 р.). К.: АПСВТ, 2023. 307 с.

23. Політ. Сучасні проблеми науки. «Транспортні технології, менеджмент і логістика»: *Тези доповідей XXIII Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених*, Київ, 2023, Національний авіаційний університет / Редакційна колегія М.Луцький [та ін.]. К.: НАУ, 2023. 252 с.

24. Президент України Володимир Зеленський. Офіційне інтернет-представництво. URL: <https://www.president.gov.ua/news/volodimir-zelenskij-za-dva-roki-v-mezhah-programi-velike-bud-72245>

25. Придатко О., Ляковська С., Мартин Є., Хлевной О. Моделювання багатопараметричних систем. Львів: ЛДУ БЖД, 2021. 245 с.

26. Про затвердження Концепції реформування транспортного сектору економіки : Постанова Кабінету Міністрів України від 09.11.2000 р. № 1684. Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1684-2000-%D0%BF#Text>

27. Про транспорт : Закон України від 10,11.1994 № 232/94-ВР. База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-вр>.

28. Проєктний та логістичний менеджмент: нові знання на базі двох методологій. Том 1: монографія / [авт.кол. : С.В. Руденко, І.О. Лапкіна, Т.А. Ковтун, А.В. Бондар, В.Ю. Смирковська та ін.]. Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2018. 188с.

29. Проєктний менеджмент: управління наукомісткими проєктами та портфелями проєктів у наукомістких галузях : монографія / Данченко О. Б., Савіна О. Ю., Бедрій Д. І. та ін. Черкаси : видавець ФОП Пономаренко Р.В., 2023. 315 с.

30. Ратушний А., Коваль Л., Тригуба А. Модель узгодження конфігурацій проєктів створення добровільних рятувальних формувань для сільських громад із характеристиками проєктного середовища у післявоєнний період. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів.*, м. Львів 28-29 березня 2024 року. Львів: ЛДУ БЖД, 2024. С. 361-365.

31. Ратушний А., Коваль Н., Коваль Л., Тригуба Б. Сучасні інформаційні технології планування створення добровільних рятувальних формувань для сільських громад. *Інформаційна безпека та інформаційні технології: збірник тез доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, студентів і курсантів, м. Львів, 30 листопада 2023 року. Львів, ЛДУ БЖД, 2023. С. 398-400,*

32. Ратушний А.Р., Коваль Л.С. Інтеграція ризик-менеджменту та ціннісного підходу в управління проєктами пожежної безпеки громад. *Інновінг сучасних трендів в менеджменті безпеки: національна безпека та оборона : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Львів, 23 травня 2025 року. Львів: ЛДУБЖД, 2025. С. 308-313.*

33. Ратушний А.Р., Коваль Л.С., Тригуба А.М. Автоматизована кластеризація пошкоджень доріг для руху пожежно рятувальних формувань на заданій території у післявоєнний період. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів*, м. Львів, 27-28 березня 2025. Львів: ЛДУБЖД, 2025. С. 418-422.

34. Ратушний Р., Ратушний А., Андрухів Д. Менеджмент гібридних проєктів систем безпеки. *Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення : збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Львів, 13 грудня 2024 року. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С. 203-205.

35. Садловська І. Пріоритети реформування та модернізації транспортної інфраструктури і дорожнього комплексу в Україні. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Економіка і управління». 2014. № 30, С. 21–31.

36. Смерічевська С.В., Штик Ю.В., Стріжов О.С. Аналіз стану і тенденції розвитку транспортної інфраструктури України / Цифрова економіка та економічна безпека. 2023, 9(09), С.56-62.

37. Tryhuba A. M., Koval N. Ya., Ratushnyi A. R., Tryhuba I. L., Shevchuk V. V. Algorithm for the routes formation of food raw materials procurement on the community territory taking into account the production conditions during emergency situations. *Applied Aspects of Information Technology*. Publ. Nauka i Tekhnika. Odessa: Ukraine. 2023; Vol. 6 No.1: 60–73. <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.5>

38. Tryhuba A., Ratushnyi A., Lub P., Rudynets M. and 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>

39. Тригуба А. М., Демчина В. Р., Ратушний А. Р., Коваль Л. С. Визначення сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури населених пунктів у післявоєнний час. *Управління проєктами у розвитку суспільства: Управління проєктами післявоєнної розбудови України: тези доп. XXI -ї Міжн. конф.*, Київ: КНУБА, 2024. С.229-232.

40. Тригуба А. М., Демчина В. Р., Ратушний А. Р., Коваль Л. С. Метод та результати визначення пріоритетних об'єктів під час ініціації проєктів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 2024, 29, 141-151. URL: <https://doi.org/10,32447/20784643.29.2024.15> (Last accessed: 27.02.2025).

41. Тригуба А. М., Демчина В. Р., Ратушний А. Р., Коваль Л. С., Андрушків О. Я. Архітектура системи збору даних та моделі об'єктів інфраструктурних проєктів. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництва: каталог інноваційних розробок*; за заг. ред. В. І. Лопушняка, Б. І. Гулька. Вип. 24. Львів: Львів. нац. ун-т. природ., 2024. С. 27.

42. Тригуба А. М., Ратушний А. Р. Прикладне програмне забезпечення для визначення раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад у повоєнний період. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництва: каталог інноваційних розробок*; за заг. ред. В. В. Снітинського, Б. І. Гулька. Вип. 23. Львів: Львів. нац. ун-т. природ., 2023. С. 47.

43. Тригуба А. М., Ратушний А. Р., Демчина В. Р., Коваль Л. С. Особливості управління проєктами відновлення транспортної та безпекової інфраструктури сільських громад у післявоєнний період. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 2023, 28, 44-54. URL: <https://doi.org/10,32447/20784643.28.2023.05>

44. Тригуба А. М., Ратушний А. Р., Рудинець М. В., Федорчук-Мороз В. І. Алгоритм та програмне забезпечення обґрунтування раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад. *Інформаційні технології в енергетиці та*

агропромислового комплексу: матеріали XI Міжнар. наук. Конференції. Львів, 04-06 жовтня 2022 р. Львів : ЛНУП, 2022. С. 67-71.

45. Тригуба А. М., Ратушний Р. Т., Ратушний А. Р., Коваль Л. С. Івануса А.І. Оптимізація безпекової інфраструктури у програмах післявоєнного відновлення з використанням сучасних геоінформаційних систем. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 2025. 31, 196-212. <https://doi.org/10.32447/20784643.31.2025.20>

46. Тригуба А., Маланчук О., Ратушний А., Паньків О., Коваль Л., Шолудько Р., Андрушків О. Адаптивно-ціннісний підхід до управління проєктами розвитку громад та регіонів. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження*, 2023, 27, С. 113–126. doi: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.113>.

47. Тригуба А.М., Коваль Л.С., Ратушний А.Р., Андрушків О.Я., Олійник Р.І. Доцільність та особливості реалізації проєктів розвитку інфраструктури регіонів у післявоєнний час. *Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи в управлінні проєктами та програмами»*, Коблево, 9–13 вересня 2024 р. Збірник праць. Харків: ХНУРЕ, 2024. С. 220-224.

48. Тригуба А.М., Кондисюк І.В., Коваль Н.Я. Формування портфелів гібридних проєктів автотранспортних підприємств. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами. Харків, 2021. № 2(4). С. 67-72.

49. Тригуба А.М., Татомир А.В., Ратушний А.Р., Коваль Л.С. Алгоритм визначення ефективних сценаріїв проєктів розвитку систем безпеки на території громад. *Інформаційні технології в енергетиці та агропромислового комплексу: матеріали XII Міжнар. наук. конференції (Львів, 04-06 жовтня 2023 р.)*. ЛНУП : За заг. ред. В. В. Снітинського. Львів : ЛНУП, 2023. С. 73-75.

50. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. Посібник. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2010, 313 с.

51. Ahlemann F., Bergan P., Karger E., Greulich M., Reining S. Making Sense of Projects-Developing Project Portfolio Management Capabilities. *Schmalenbach Journal of Business Research*, Vol. 76, 2024, pp. 293–325. <https://link.springer.com/article/10,1007/s41471-023-00178-8>
52. Al-Sabbagh T. A., Almuqataf M. M., Elsaed E. L., Elkadeem M. R., Kotb K. M. Advanced GIS and fuzzy logic integration for strategic fire station placement in Yanbu industrial city, Saudi Arabia. *GeoJournal*. 2025. 90(2). P. 59. <https://doi.org/10,1007/s10708-025-11304-w>. (Last accessed: 31.03.2025).
53. Bashynsky O., Garasymchuk I., Gorbovy O., et al. Research of the variable natural potential of the wind and energy in the northern strip of the Ukrainian Carpathians. In: ICoRES 2019. E3S Web of Conferences. 2020, Vol. 154. Art. 06002.
54. Bashynsky O., Hutsol T., Rozkosz A., Prokopova O. Justification of Parameters of the Energy Supply System of Agricultural Enterprises with Using Wind Power Installations. E3S Web of Conferences. 2020, Vol. 154.
55. Batyuk V.V., Dyndyn M.L. Coordination of configurations of complex organizational and technical systems for development of agricultural sector branches. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2020, Vol. 52(2). P. 63–76.
56. Belhadj C., Riahi R., Sebei A., Sifi S., Rebai N. Advanced groundwater potential and contamination vulnerability assessment using integrated GIS-based AHP techniques: A case study from the Bizerte watershed, Tunisia. *Environmental and Sustainability Indicators*. 2025. 26. P. 100597. <https://doi.org/10,1016/j.indic.2025.100597>. (Last accessed: 31.03.2025).
57. Bondar A., Bushuyev S., Bushuieva V., Onyshchenko S. Complementary strategic model for managing entropy of the organization. CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2851. P. 293–302.
58. Boyarchuk V., Boyarchuk O., Ftoma O. Evaluation of risk value of investors of projects for the creation of crop protection of family dairy farms. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2019. Vol. 67(5). P. 1357–1367.

59. Boyarchuk V., Pavlikha N. Risk-Adapted model of the lifecycle of the technologically integrated programs of dairy cattle breeding. In: CSIT. 2021. Vol. 2. P. 307–310,
60. Bushuyev S., Bushuiev D., Bushuieva V. Interaction Multilayer model of Emotional Infection with the Earn Value Method in the Project Management Process. In: 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies. 2020, Vol. 2. P. 146–150,
61. Bushuyev S., Bushuiev D., Bushuieva V. Modelling of emotional infection to the information system management project success. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. Vol. 1265. P. 341–352.
62. Bushuyev S., Bushuyeva N., Bushuieva V., Bushuiev D. Integrated Intelligence Model for Managing IT Projects. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. Vol. 3382.
63. Bushuyev S., Verenych O. The Blended Mental Space: Mobility and Flexibility as Characteristics of Project. *Program Success*. In: 13th CSIT. 2018. Vol. 2. P. 148–151.
64. Canadian Association of Fire Chiefs. Volunteer Fire Services in Canada. Ottawa: CAFC, 2022. URL: <https://www.cafc.ca/>
65. Cherep A., Adamenko M., Cherep O., Dashko I., Korolenko R., Kornukh O. The Influence of the Innovation Potential of Personnel on Strengthening Economic Security of Ukrainian Enterprises in the Post-War Period. *WSEAS Transactions on Business and Economics*. 2023. Vol. 20, P. 70–79.
66. Chernov S., Titov S., Chernova L., Kunanets N., Bobyk I. Assignment Problem Generalization. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. Vol. 3295. P. 48–63.
67. Chernov S., Titov S., Chernova L., Kunanets N., Pitera V., Shcherbyna Y., Petryshyn L. Efficient algorithms of linear optimization problems solution. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851.

68. Costa H. R., Barros M. D. O., et al. Evaluating software project portfolio risks. *Journal of Systems and Software*, Vol. 80, No. 1, 2007, pp. 16-31. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0164121206001680>

69. Danshyna S., Nechausov A. Method of information technology for structure analysis of urban network fire-rescue units. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2023. (4). P. 171–183. URL: <https://doi.org/10.32620/reks.2023.4.12>. (Last accessed: 31.03.2025).

70. Dezhkam M., Xue S., Liu Z. Project portfolio management system, concepts and approach foundations. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 310 (2019) 052081 doi:10.1088/1755-1315/310/5/052081

71. DOOLA. Найкраще програмне забезпечення для управління проєктами. URL: <https://www.doola.com/uk/blog/best-software-for-project-management/>

72. Duda O., Kunanets N., Martsenko S., Nykytyuk V., Pasichnyk V. COVID-19 data collections and analytical processing. In: *IEEE 16th CSIT*. 2021.

73. European Commission. Civil Protection and Humanitarian Aid Operations. Brussels: European Commission, 2025. URL: <https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/>

74. European Commission. Civil Protection in Ukraine: Capacity and Challenges. Brussels: EC, 2021. URL: <https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/>

75. European Commission. EU Civil Protection Mechanism. *Brussels: Publications Office of the European Union*, 2023. URL: https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/what/civil-protection_en

76. European Commission. European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations. *Brussels: Publications Office of the European Union*, 2025. URL: https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/where/europe/ukraine_en?utm_source=chatgpt.com

77. European Strategy and Policy Analysis System. Available at. URL: <https://www.iss.europa.eu/sites/default/files/EUISSFiles/ESPASReport.pdf>
78. Faris R.K., Patterson D. Managing risk in the project portfolio. Project Management Institute, 2007. <https://www.pmi.org/learning/library/managing-risk-project-portfolio-7297>
79. FEMA. Fire Department Operations. *Federal Emergency Management Agency*, 2022. URL: <https://www.fema.gov/emergency-managers/national-preparedness/firefighters>
80. Figueiredo M. S. M., Oliveira M. D. Prioritizing Risks Based on Multicriteria Decision Aid Methodology: Development of Methods Applied to ALSTOM Power. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2009, pp. 1568-1572. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5373210>
81. Granholm F., Tin D., Ciottone G.R. Not war, not terrorism, the impact of hybrid warfare on emergency medicine. *American Journal of Emergency Medicine*. 2023. Vol. 62. P. 96–100,
82. Harold Kerzner *Innovation Project Management: Methods, Case Studies, and Tools for Managing Innovation Projects*. John Wiley & Sons, 2022, 624 p.
83. He Q., Xue L., Yang Y., Ding P., Liu M. Research on Chinese fire station optimal location model based on fire risk statistics: Case study in Shanghai. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024. 14(5). P. 2052. <https://doi.org/10.3390/app14052052>. (Last accessed: 31.03.2025).
84. Heikkilä M., Hallikas J., Kähkönen T. Managing project portfolios: balancing control and learning. *International Journal of Project Management*, Vol. 21, No. 3, 2003, pp. 167-174. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786302000511>
85. Hulida, E., Pasnak, I., Koval, O., Tryhuba, A. Determination of the critical time of fire in the building and ensure successful evacuation of people. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2019, 63(1), pp. 308–316.

86. International Civil Defence Organisation. *Global Report on Civil Defence and Emergency Response Systems*. Geneva: ICDO, 2022. URL: <https://icdo.org/>
87. Ivankevich A., Pitera V., Shakhov A., Shakhov V., Yarovenko V. A Proactive Strategy of Ship Maintenance Operations. In: 14th CSIT. 2019. P. 126–129.
88. Jendersie R., Mjalled A., Lu X., Mönnigmann M., Lessig C. NeuroPNM: Model reduction of pore network models using neural networks. *Particuology*. 2023. Vol. 86. P. 239–251.
89. Karyne C. S. Ang, Lars Kristian Hansen, Per Svejvig. Value-Orientated Decision-Making in Agile Project Portfolios. *Research on Project, Programme and Portfolio Management: Projects as an Arena for Self-Organizing*, 2022, pp. 49-64. https://link.springer.com/chapter/10,1007/978-3-030-86248-0_5
90. Kashtalian A., Savenko O., Sachenko A. Agglomerative Clustering of Data Collected by Honeypots. In: IEEE 11th IDAACS. 2021.
91. Kobylkin D., Zachko O., Popovych V., Golovaty R., Wolff C. Models for changes management in infrastructure projects. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, Vol. 2565. P. 106–115.
92. Kobylkin D., Zachko O., Ratushny R., Ivanusa A., Carsten W. Models of content management of infrastructure projects mono-templates under the influence of project changes. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851. P. 106–115.
93. Kondysiuk I., Bashynsky O., Dembitskyi V., Myskovets I. Formation and risk assessment of stakeholders value of motor transport enterprises development projects. In: CSIT. 2021. Vol. 2. P. 303–306.
94. Koval N., Kondysiuk I., Grabovets V., Onyshchuk V. Forecasting the fund of time for performance of works in hybrid projects using machine training technologies. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2917. P. 196–206.
95. Kovalchuk O., Kobylkin D., Zachko O. Digitalization of HR-management processes of project-oriented organizations in the field of safety. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. Vol. 3295. P. 183–190,

96. Kovalchuk O., Zachko O., Kobylkin D. Criteria for intellectual forming a project teams in safety oriented system. In: 17th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2022. Vol. 2. P. 430–433.
97. KSE Institute. Damage to Ukraine's Infrastructure (periodic reports). Kyiv, 2024–2025. Available at: https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/8e23952b-3674-512e-bb45-aacd8e222ebe?utm_source=chatgpt.com
98. Kunanets N., Sokur L., Dobrovolska V., Lytvyn S. Project Activities of Shevchenko National Preserve in Informational Society. In: CSIT. 2021. Vol. 2. P. 423–426.
99. Kyivstar Business Hub. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/shho-take-iot-tehnologiya-ta-yak-vona-vplyvaye-na-rizni-galuzihttps://hub.kyivstar.ua/articles/shho-take-iot-tehnologiya-ta-yak-vona-vplyvaye-na-rizni-galuzi>
100. Lappi T., Aaltonen K., Kujala J. Project governance and portfolio management in government digitalization. Transforming Government: People, Process and Policy, Vol. 13, No. 2, 2019, pp. 159-196. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/tg-11-2018-0068/full/html>
101. Liu Z., Song X., Wang L., Song R., Lishner I. Identification of Governance Structures for Private–Public Partnership (PPP) Project Through Social Network Analysis. Research on Project, Programme and Portfolio Management: Projects as an Arena for Self-Organizing, 2022, pp. 157-173. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-86248-0_12
102. Lub P., Berezovetskyi S., Chubyk R., Ptashnyk V. The Research of Technological Risk of the Harvesting Projects on the Basis of Simulation Modeling. In: 16th CSIT. 2021. Vol. 2. P. 359–363.

103. Lub P., Berezovetskyi S., Padyuka R., Chubyk R. Information-analytical support of project management processes with the use of simulation modeling methods. CEUR Workshop Proceedings. 2022. Vol. 3109. P. 53–57.
104. Lub P., Pukas V., Sharybura A., Chubyk R., Lysiuk O. The information technology use for studying the impact of the project environment on the timelines of the crops harvesting projects. CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2851. P. 324–333.
105. Lub P., Pukas V., Sharybura A., Lysiuk O. Modelling of the technological systems projects of harvesting agricultural crops. In: 14th CSIT. 2019. Vol. 2. P. 19–22.
106. Marcelino-Sádaba S., Pérez-Ezcurdia A., Echeverría Lazcano A.M., Villanueva P. Project risk management methodology for small firms. *Int. J. Proj. Manag.*, 32 (2) (2014), pp. 327-340,
107. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_31)
108. Micán C., Fernandes G., Araújo M. Project portfolio risk management: a structured literature review with future directions for research. *International Journal of Information Systems and Project Management*, Vol. 8, No. 3, 2020, pp. 67-84. <https://www.sciencesphere.org/ijispm/archive/ijispm-080304.pdf>
109. Milkova S., Bernar, Antoñanzas V., Molina Gutiérrez M.Á., Storch-de-Gracia P., GarcíaAscaso M.T. Emergency care for children refugees from the Russian-Ukrainian armed conflict. *Anales de Pediatría*. 2023. Vol. 98(1). P. 65–67.
110. Mohamed A. G., Alqahtani F. K., Ismail E. R., Nabawy M. Synergizing GIS and genetic algorithms to enhance road management and fund allocation with a comprehensive case study approach. *Scientific Reports*. 2025. 15(1). P. 4634. [https://doi.org/10,1038/s41598-025-88760-4](https://doi.org/10.1038/s41598-025-88760-4). (Last accessed: 31.03.2025).
111. Müller R., Turner J. R. The impact of principal–agent relationship and contract type on communication between project owner and manager. *International*

Journal of Project Management, Vol. 23, No. 5, 2005, pp. 398-403.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026378630500032X>

112. Nebesnyi R., Kunanets N., Vaskiv R., Veretennikova N. Formation of an IT Project Team in the Context of PMBOK Requirements. In: CSIT. 2021. Vol. 2. P. 431–436.

113. OECD. Enhancing Civil Protection in the Baltic States. Paris: *OECD Publishing*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264318750-en>

114. OECD. Strengthening Climate Resilience. Guidance for governments and development co-operation. 2021. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/03/strengthening-climate-resilience_be146744/4b08b7be-en.pdf

115. Olekh H., Kolesnikova K., Olekh T., Mezentseva O. Environmental Impact Assessment Procedure As The Implementation Of The Value Approach In Environmental Projects. CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2851. P. 206–216.

116. ONMU. URL: <https://pm-onmu.org.ua/archieve/>

117. Open Knowledge Repository (OKR) – the World Bank’s official open access repository for research outputs and knowledge products. Washington DC, active from 2012. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/>

118. OpenStreetMap Україна. URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=19/49.83791/24.03532>

119. Pavlikha N., Rudynets M., Khomiuk N., Fedorchuk-Moroz V. Studying the influence of production conditions on the content of operations in logistic systems of milk collection. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 3(3-99). P. 50–63.

120. Piterska V., Kolesnikov O., Lukianov D., Kolesnikova K., Gogunskii V., Olekh T., Shakhov A., Rudenko S. Development of the Markovian model for the life cycle of a project’s benefits. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5(4(95)). P. 30–39.

121. Piterska V., Nemchuk O., Orobey V., Lymarenko O., Sherstiuk O., Romanov O., Tkachuk K. Diagnostics of the strength and stiffness of the loader carrier system structural elements in terms of thinning of walls by numerical methods. *Diagnostyka*. 2021. Vol. 22(3). P. 73–81.

122. Piterska V., Shakhov A., Lohinov O., Lohinova L. The Method of Human Resources Management of Educational Projects of Institution of Higher Education. In: 15th CSIT. 2020, P. 123–126.

123. PMI, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), (5th ed.), Newton Square, PA: Project Management Institute, 2013.

124. 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. 11th International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies, ELIT 2019 - Proceedings, 2019, pp. 34–39, 8892320,

125. Ratushnyi A., Ptashnyk V., Koval L., Lub P., Tatomyr A. A Neural Network Model for Predicting the Duration of Emergency Response Projects. *IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*, 2023. 195025. P. 1-4. <https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324279>

126. Ratushnyi R., Khmel P., Martyn E., Prydatko O. Substantiating the effectiveness of projects for the construction of dual systems of fire suppression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 4(3-100). P. 46–53.

127. Rudynets M., Pavlikha N., Skorokhod I., Seleznev D. Establishing patterns of change in the indicators of using milk processing shops at a community territory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6(3-102). P. 57–65.

128. Setiawan E., Kusuma J. V., Sulistyawan G. A., Astuti S. P. Optimising household solid waste collection facility in autonomous regions of developing countries: A case study on Karanganyar Regency, Indonesia. *Forum Geografi*. 2024.

38(3). P. 317–328. <https://doi.org/10.23917/forggeo.v38i3.4313>. (Last accessed: 31.03.2025).

129. Shakhov A., Pitera V., Sherstiuk O., Rossomakha O., Rzhetskyi A. Management of the technical system operation based on forecasting its “aging”. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, Vol. 2565. P. 130–141.

130. Sikora, L., Lysa, N., Tkachuk, R., Fedevych, O. Informational and Procedural Description of an Energy-active Control Object Behavior Under Active Threats Conditions. *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3373, pp. 507–517.

131. Stella E.M. Managing Emergencies for the Safeguarding of Cities of Art in Corrado Ricci’s Correspondence: Ravenna, ‘Open City’ without Air Defences (1916–1918). *War in History*. 2023. Vol. 30(1). P. 38–59.

132. Tereikovskiy I., Korchenko O., Bushuyev S., Ziubina R., Veselska O. A Neural Network Model for Object Mask Detection in Medical Images. *International Journal of Electronics and Telecommunications*. 2023. Vol. 69(1). P. 41–46.

133. The Standard for Earned Value Management. Project Management Institute. 2020,

134. The World Bank. Україна швидка оцінка завданої шкоди та потреб на відновлення. URL: <https://www.worldbank.org/en/home>

135. Tryhuba A., Bashynsky O., Kondysiuk I., Koval N., Bondarchuk L. Conceptual model of management of technologically integrated industry development projects. In: 15th CSIT. 2020, Vol. 2. P. 155–158.

136. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I. et al. Forecasting of a Lifecycle of the Projects of Production of Biofuel Raw Materials With Consideration of Risks. In: ATIT. 2019. P. 420–425.

137. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I. et al. Model of assessment of the risk of investing in the projects of production of biofuel raw materials. In: 15th CSIT. 2020, Vol. 2. P. 151–154.

138. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I., Boiarchuk O., Pavlikha N., Kovalchuk N. Study of the impact of the volume of investments in agrarian projects on the risk of their value. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851.

139. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I., Francik S., Rudynets M. Method and software of planning of the substantial risks in the projects of production of raw material for biofuel. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, Vol. 2565. P. 116–129.

140. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I., Ftoma O., Padyuka R., Rudynets M. Forecasting the risk of the resource demand for dairy farms basing on machine learning. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, Vol. 2631.

141. 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 5nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2024). Conference*. Bratislava, Slovakia, May 22, 2024. pp. 219-231. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3709/paper18.pdf> (Last accessed: 16.02.2025).

142. Tryhuba A., Malanchuk O., Tryhuba I. Prediction of the Duration of Inpatient Treatment of Diabetes in Children Based on Neural Networks. *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. Vol. 3426. P. 122–135.

143. Tryhuba A., Ratushny R., Bashynsky O., Ptashnyk V. Planning of Territorial Location of Fire-Rescue Formations in Administrative Territory Development Projects. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, Vol. 2565. P. 18–20,

144. Tryhuba A., Ratushny R., Horodetskyi I., Molchak Y., Grabovets V. The configurations coordination of the projects products of development of the community fire extinguishing systems with the project environment. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851. P. 238–248.

145. Tryhuba A., Ratushnyi R., Ratushnyi A., Koval L., Andrukhiv D. Creating value from the implementation of project portfolios for the development of territorial security systems. *Security Forum*. 2025. No. 1. pp. 45–58. DOI: https://doi.org/10.26410/SF_1/25/3.

146. Tryhuba A., Tryhuba I., Ftoma O., Boyarchuk O. Method of quantitative evaluation of the risk of benefits for investors of fodder-producing cooperatives. In: 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2019. Vol. 3. P. 55–58.

147. Tryhuba A., Zachko O., Grabovets V., Berladyn O., Pavlova I., Rudynets M. Examining the effect of production conditions at territorial logistic systems of milk harvesting on the parameters of a fleet of specialized road tanks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 5(3). P. 59-70, URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2018_5\(3\)_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2018_5(3)_7). (Last accessed: 17.10,2023).

148. Tryhuba A.M., Ratushny R.T., Koval L.S., Ratushnyi A.R. Predicting the level of availability of volunteer rescue teams in rural communities based on openstreetmap data and deep learning. *Radio electronics, computer science, control*. 2025. No. 4. pp. 154–172. DOI <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2025-4-14>

149. Tryhuba, A., Bashynsky, O. Coordination of dairy workshops projects on the community territory and their project environment. International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, 2019, 3, pp. 51–54, 8929816.

150. Tryhuba, A., Kondysiuk, I., Tryhuba, I., Boiarchuk, O., Tatomyr, A., Intellectual information system for formation of portfolio projects of motor transport enterprises. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3109, pp. 44–52.

151. Tryhuba, A., Ratushny, R., Bashynsky, O., Shcherbachenko, O. Identification of firefighting system configuration of rural settlements. MATEC Web of Conferences, 2018, 247, 00035.

152. Tryhuba, A., Ratushny, R., Tryhuba, I., Koval, N., Androshchuk, I. The model of projects creation of the fire extinguishing systems in community territories. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2020, 68(2), pp. 419–431.

153. Tryhuba, A., Ratushnyi, A., Lub, P., Rudynets, M., Visyn, O. The model of the formation of values and the information system of their determination in the

projects of the creation of territorial emergency and rescue structures. CEUR Workshop Proceedings, 2023, 3453, pp. 59–70,

154. UA Ukraine Facility 2024-2027. План URL: <https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/>

155. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA). Humanitarian Bulletin – Ukraine. ReliefWeb, Situation Update – December 2024. Available in PDF: https://response.reliefweb.int/ukraine/humanitarian-bulletin?utm_source=chatgpt.com

156. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA). Humanitarian Bulletin – Ukraine: Situation Update – August 2025. ReliefWeb (OCHA), 2025. URL: <https://response.reliefweb.int/ukraine/humanitarian-bulletin/situation-update-august-2025>

157. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA). Humanitarian Hubs and Logistical Coordination in Front-Line Areas (e.g., Kharkiv Transit Centre). OCHA – United Nations in Ukraine, 2025. URL: <https://ukraine.un.org/en>

158. Verenych O., Wolff C., Bushuyev S., Bondar O., Voitenko O. Hybrid Competencies Model for Managing Innovation Projects. CEUR Workshop Proceedings. 2022. Vol. 3295. P. 25–37.

159. Volakakis V., Mahmassani H. S. Vertiport infrastructure location optimization for equitable access to urban air mobility. *Infrastructures*. 2024. 9(12). P. 239. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9120239>. (Last accessed: 31.03.2025).

160. Vovk M., Batyuk B., Holomsha O., Sava A. Improving the quality of management in the system of forecasting milk procurement in communities usage the technology of neutron networks. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2022. Vol. 40, P. 201–209.

161. Yang Z. Z., Guo L., Yang Z. Emergency logistics for wildfire suppression based on forecasted disaster evolution. *Annals of Operations Research*. 2019. 283(1). P. 385–412. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2598-9>. (Last accessed: 17.01.2025).

162. Yu D., Wang Z., Yue C., Wang J. Spatial modeling of brine level and salinity in the Qarhan Salt Lake using GIS and automated machine learning algorithms. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2025. 58. P. 102195. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102195>. (Last accessed: 31.03.2025).

163. Zhao R., Moh W.H. Value Management Practices on Major Construction Projects. 2016. P. 147–157.

164. Zhou Y., Liu H., Wang N., Gu Y. Lagrangian relaxation-based approaches for cooperative location and assignment of emergency responders. *Alexandria Engineering Journal*. 2024. 107. P. 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.07.030>. (Last accessed: 31.03.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Аналіз складових гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

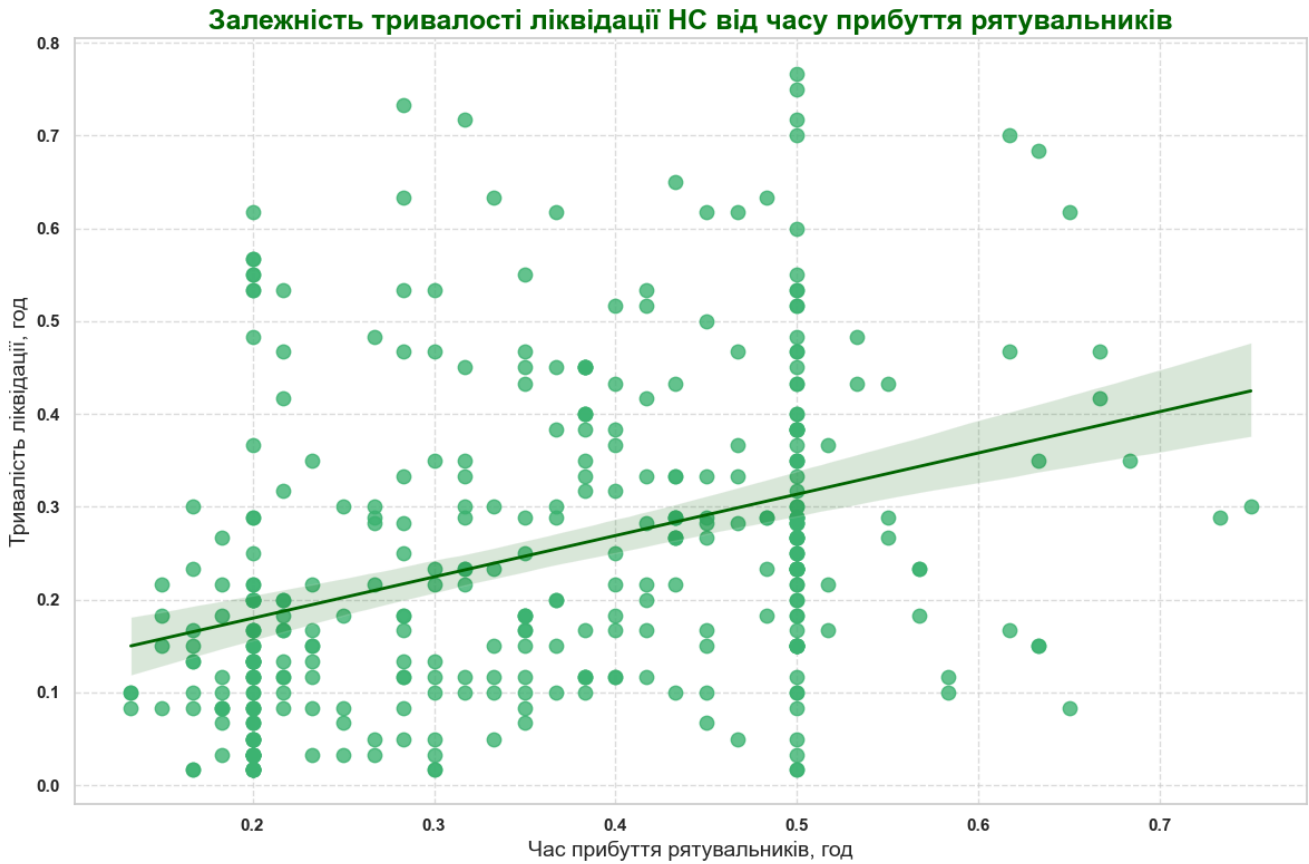


Рисунок А.1 – Залежність тривалості ліквідації надзвичайних ситуацій від часу прибуття рятувальників

Таблиця А.1 – Описові статистики для змінних «Час прибуття рятувальників» та «Тривалість ліквідації надзвичайних ситуацій»

Показник	Час прибуття рятувальників, год	Тривалість ліквідації, год
Кількість спостережень (n)	366	366
Мінімальне значення	0,13	0,017
1-й кuartиль (Q1)	0,217	0,117
Медіана (Q2)	0,350	0,217
3-й кuartиль (Q3)	0,500	0,383
Максимальне значення	0,75	1.60
Середнє арифметичне (μ)	0,357	0,289
Стандартне відхилення (σ)	0,137	0,251

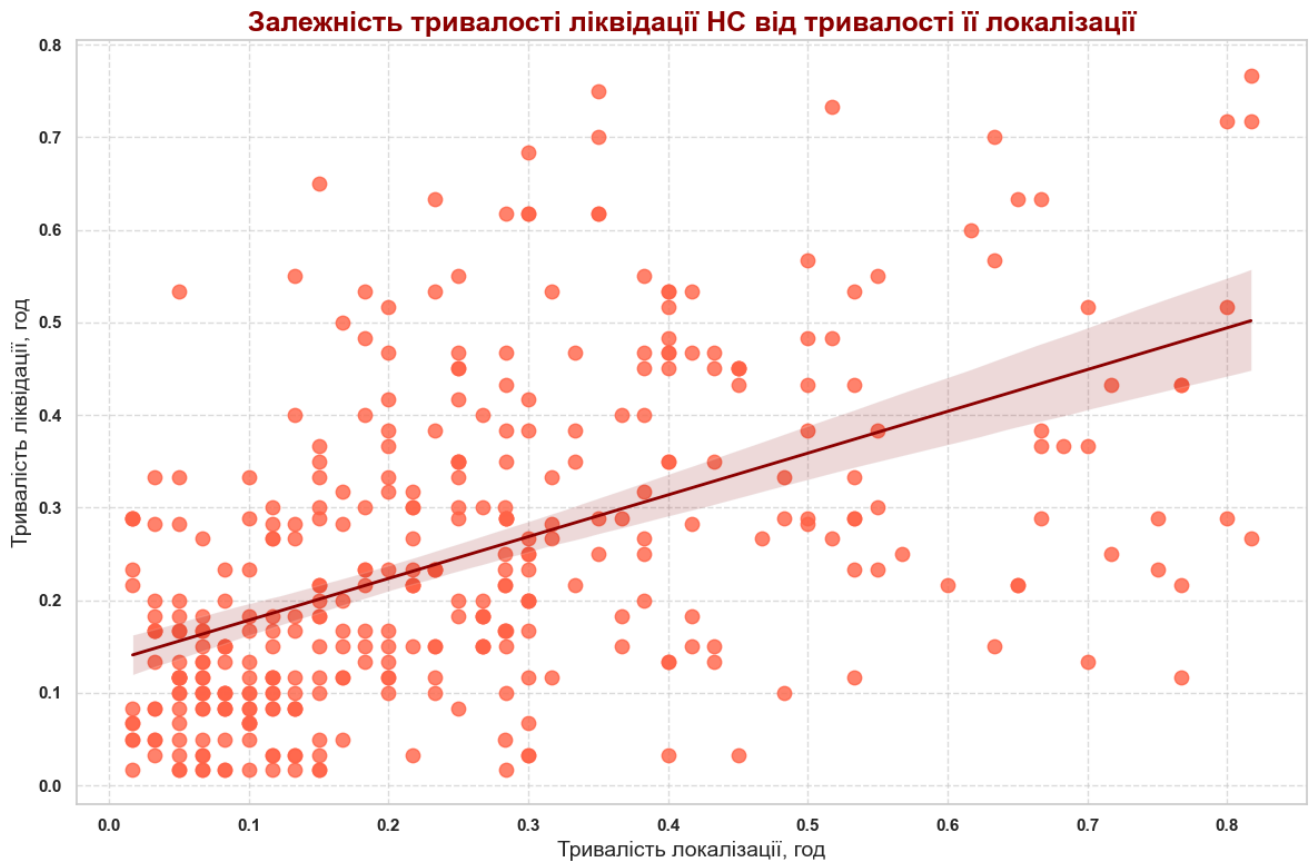


Рисунок А.2 – Залежність тривалості гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій від тривалості локалізації надзвичайних ситуацій

Таблиця А.2 – Описові статистики для змінних «Тривалість локалізації надзвичайних подій» та «Тривалість ліквідації надзвичайних ситуацій»

Показник	Тривалість локалізації, год	Тривалість ліквідації, год
Кількість спостережень (n)	366	366
Мінімальне значення	0,017	0,017
1-й кuartиль (Q1)	0,100	0,117
Медіана (Q2)	0,217	0,217
3-й кuartиль (Q3)	0,400	0,383
Максимальне значення	1,450	1,600
Середнє арифметичне (μ)	0,284	0,289
Стандартне відхилення (σ)	0,242	0,251

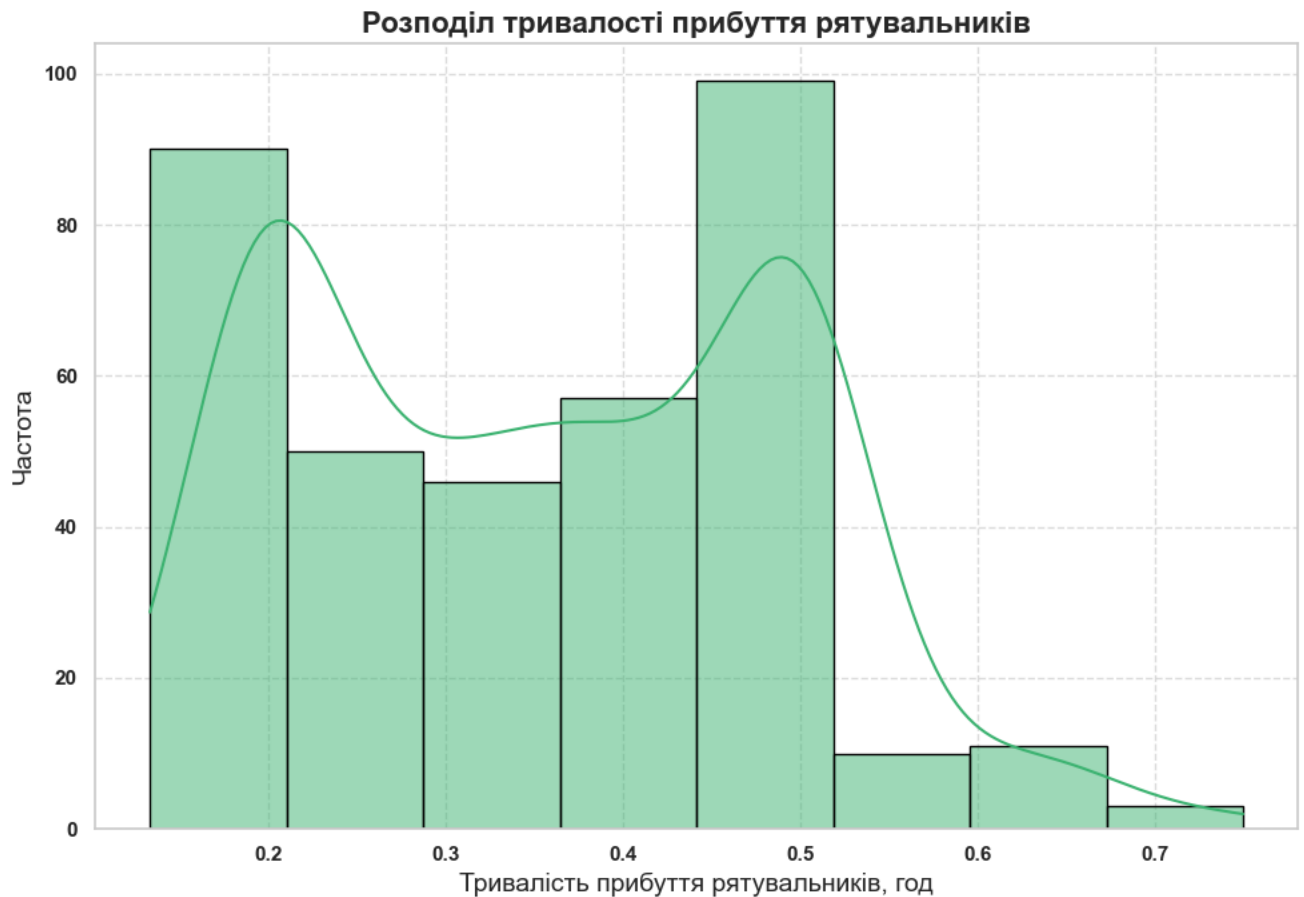


Рисунок А.3 – Розподіл тривалості прибуття рятувальників до місця виникнення надзвичайних ситуацій

Таблиця 3.3 – Статистичні характеристики тривалості прибуття рятувальників до місця виникнення надзвичайних ситуацій

Показник	Значення
Кількість спостережень (n)	366
Середнє значення (Mean)	0,3577 год
Медіана (50-й перцентиль)	0,3500 год
Стандартне відхилення (Std)	0,1372 год
Мінімальне значення (Min)	0,1330 год
1-й кuartиль (25%)	0,2170 год
3-й кuartиль (75%)	0,5000 год
Максимальне значення (Max)	0,7500 год
Аномальних значень (IQR-аналіз)	0

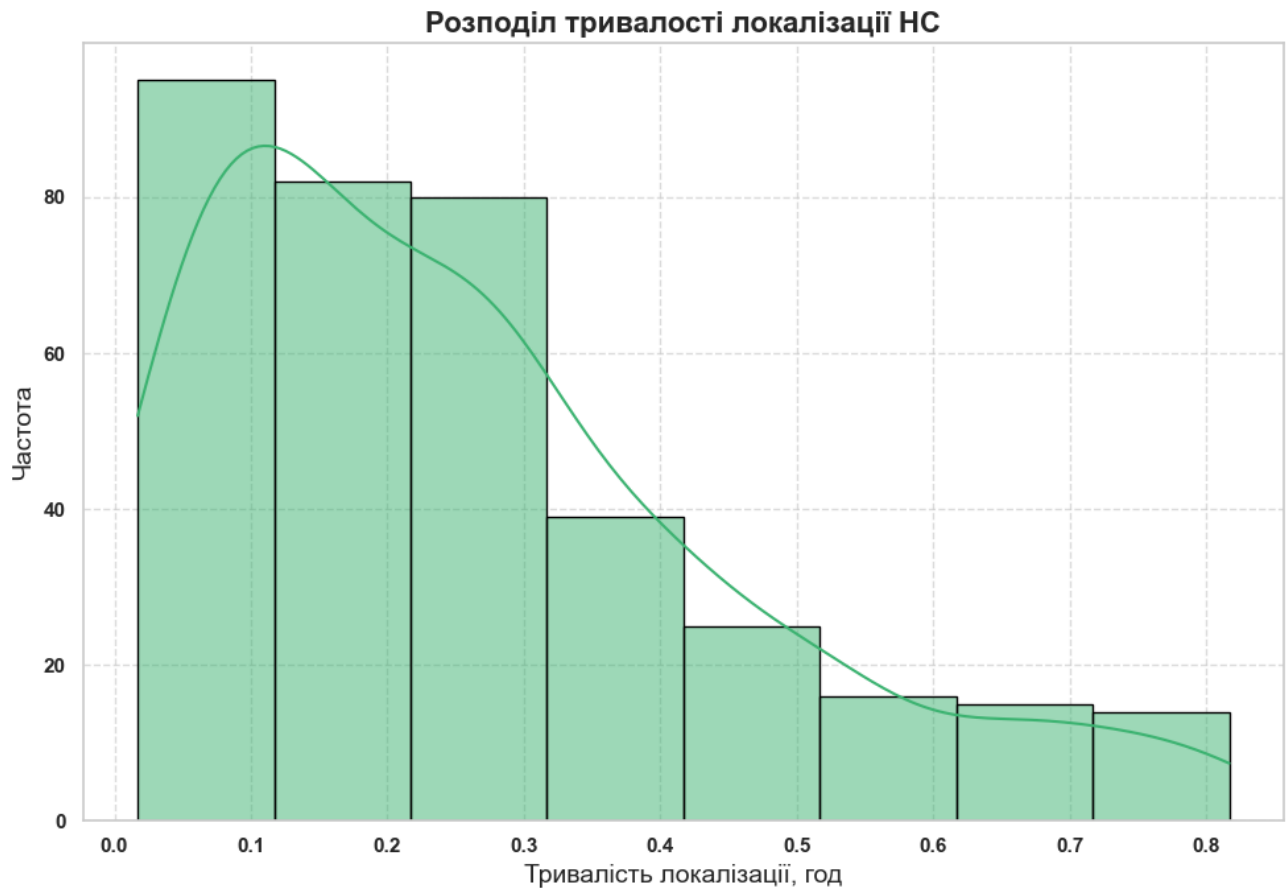


Рисунок А.4 – Розподіл тривалості локалізації надзвичайних ситуацій

Таблиця 3.4 – Статистичні характеристики тривалості тривалості локалізації надзвичайних ситуацій

Показник	Значення
Кількість спостережень (n)	366
Середнє значення (Mean)	0,2844 год
Медіана (50-й перцентиль)	0,2170 год
Стандартне відхилення (Std)	0,2423 год
Мінімальне значення (Min)	0,0170 год
1-й кuartиль (25%)	0,1000 год
3-й кuartиль (75%)	0,4000 год
Максимальне значення (Max)	1,4500 год
Кількість аномальних значень	12

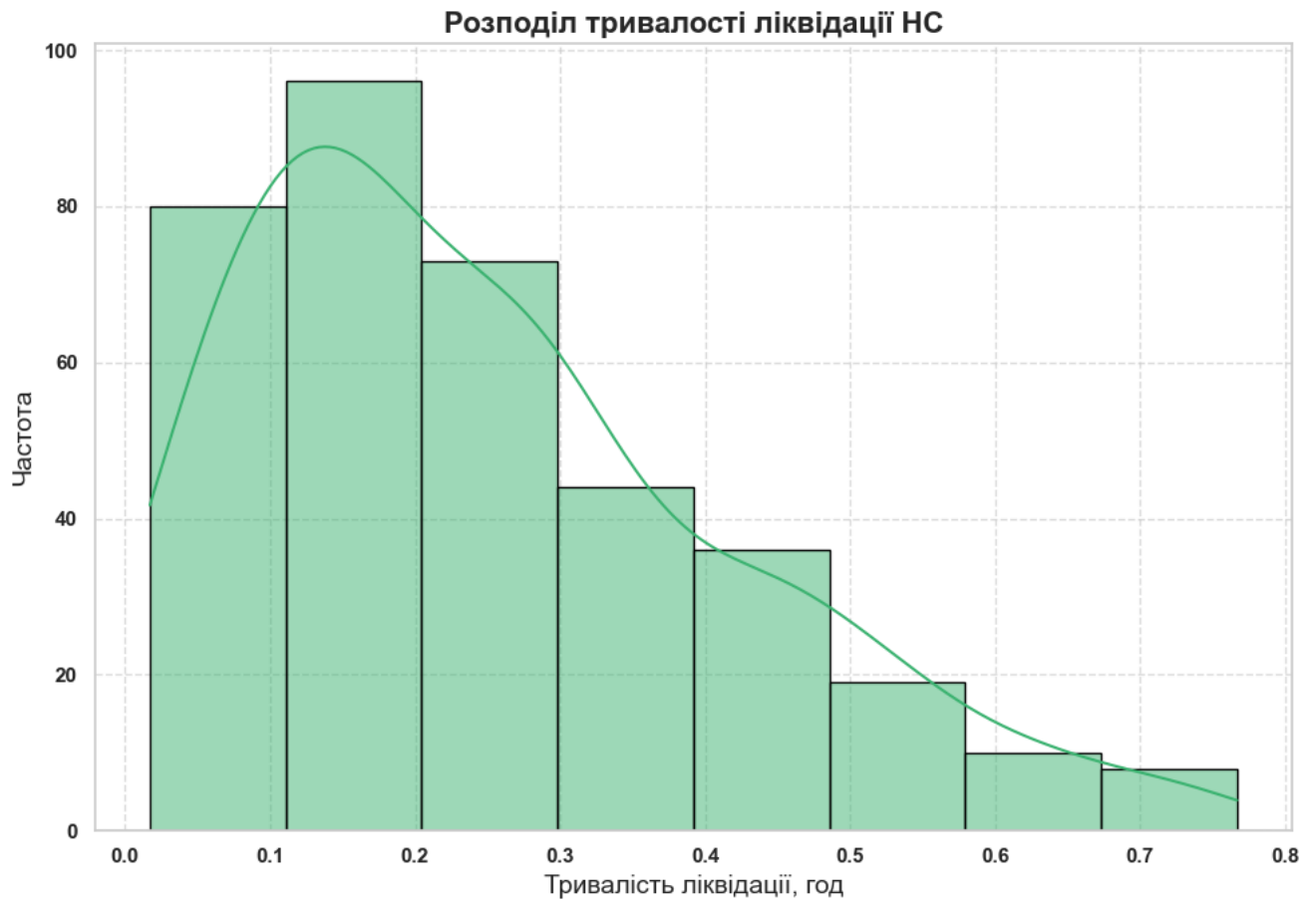


Рисунок А.4 – Розподіл тривалості ліквідації надзвичайних ситуацій

Таблиця 3.4 – Статистичні характеристики тривалості ліквідації надзвичайних ситуацій

Показник	Значення
Кількість спостережень (n)	366
Середнє значення (Mean)	0,2742 год
Медіана (50-й перцентиль)	0,2080 год
Стандартне відхилення (Std)	0,2277 год
Мінімальне значення (Min)	0,0100 год
1-й кuartиль (25%)	0,1200 год
3-й кuartиль (75%)	0,3825 год
Максимальне значення (Max)	1,6000 год
Кількість аномальних значень	18

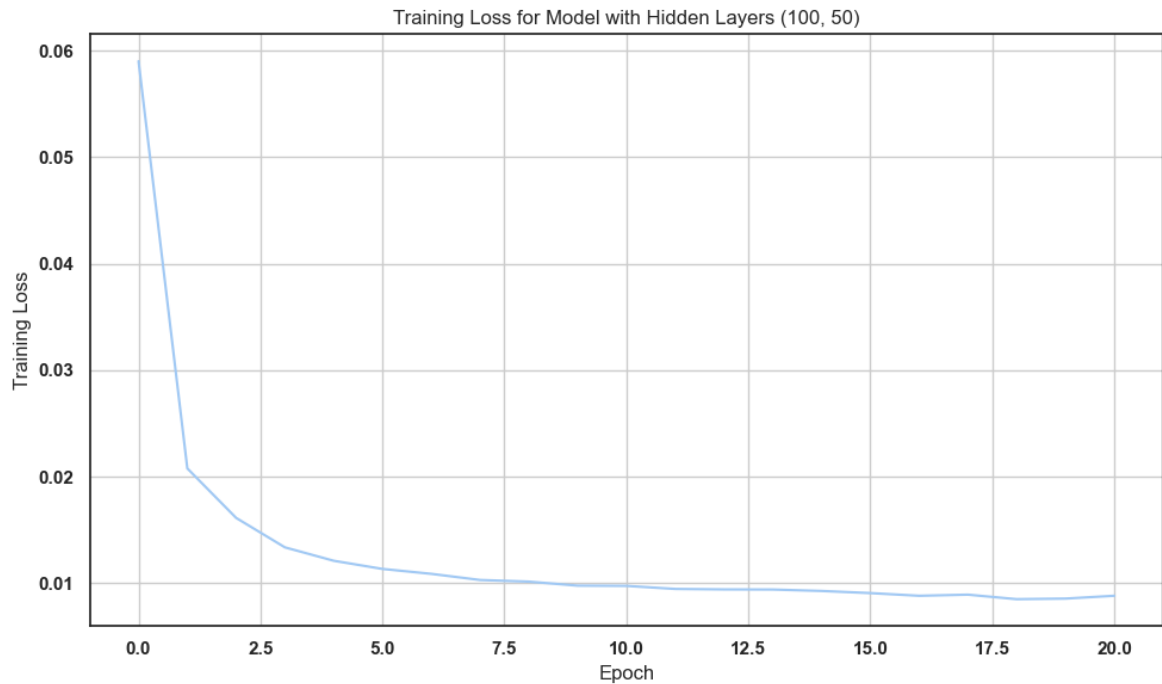
Додаток Б**Результати навчання нейромережевих моделей прогнозування тривалості
гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій**

Рисунок Б.1 – Графік зміни функції втрат (loss function) під час навчання двошарового MLP з архітектурою (100, 50) для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

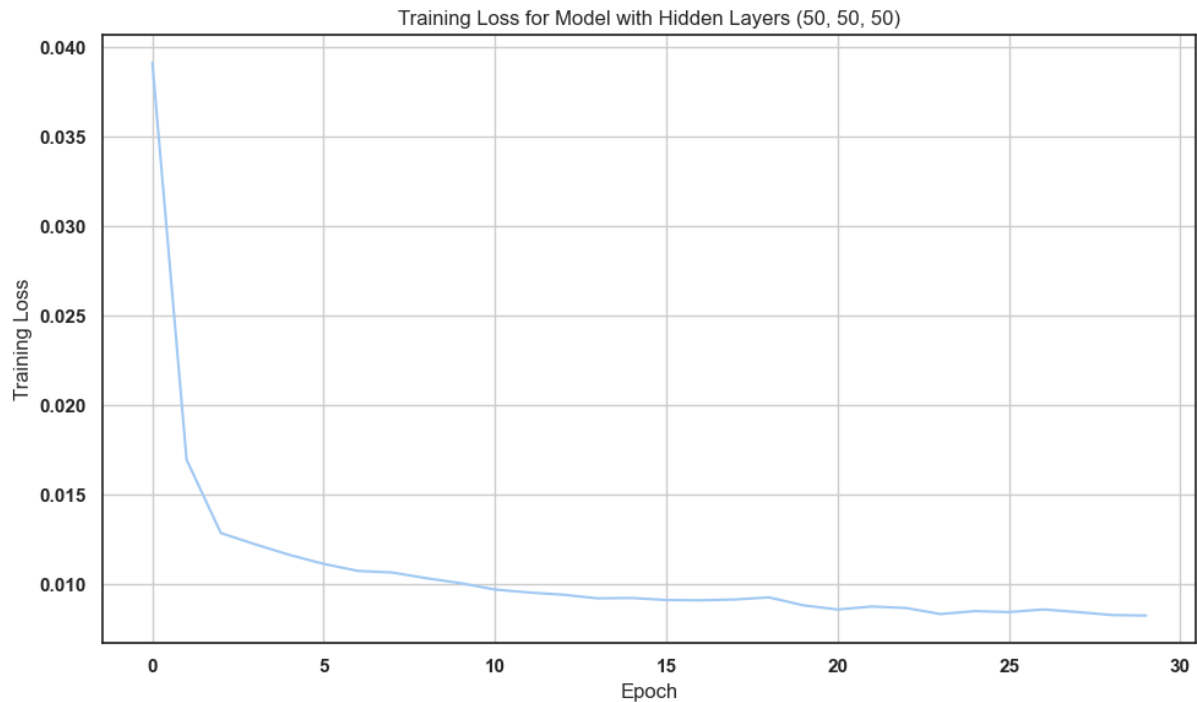


Рисунок Б.2 – Графік зміни функції втрат (loss function) під час навчання тришарового MLP з архітектурою (50, 50, 50) для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

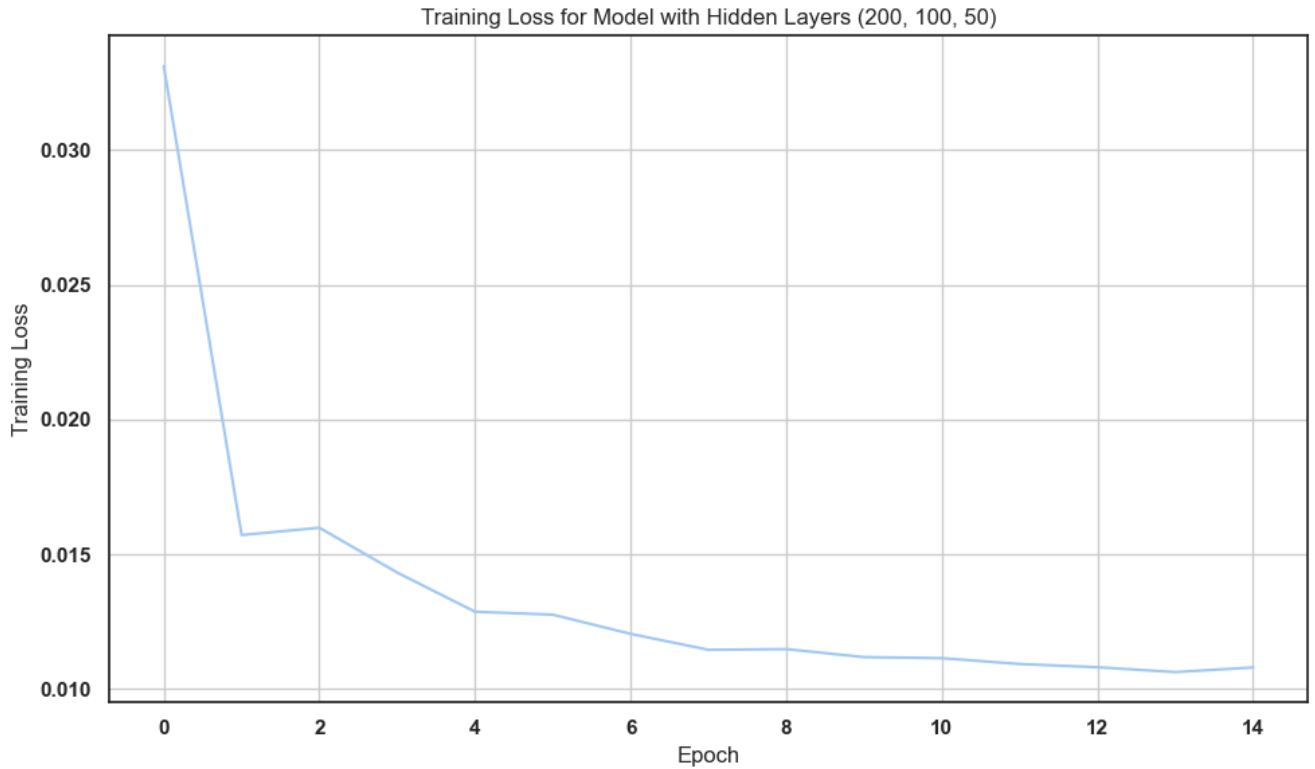


Рисунок Б.3 – Графік зміни функції втрат (loss function) під час навчання тришарового MLP з архітектурою (200, 100, 50) для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

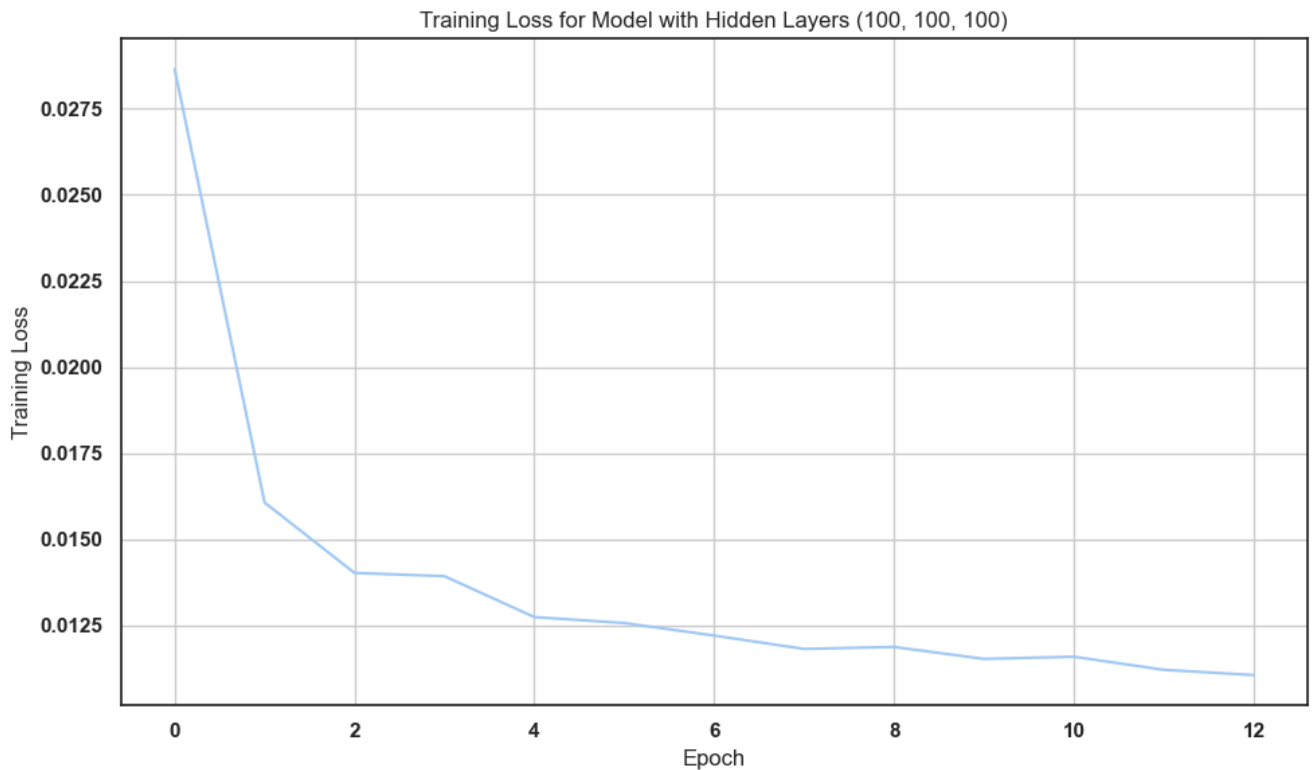


Рисунок Б.4 – Графік зміни функції втрат (loss function) під час навчання тришарового MLP з архітектурою (100, 100, 100) для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

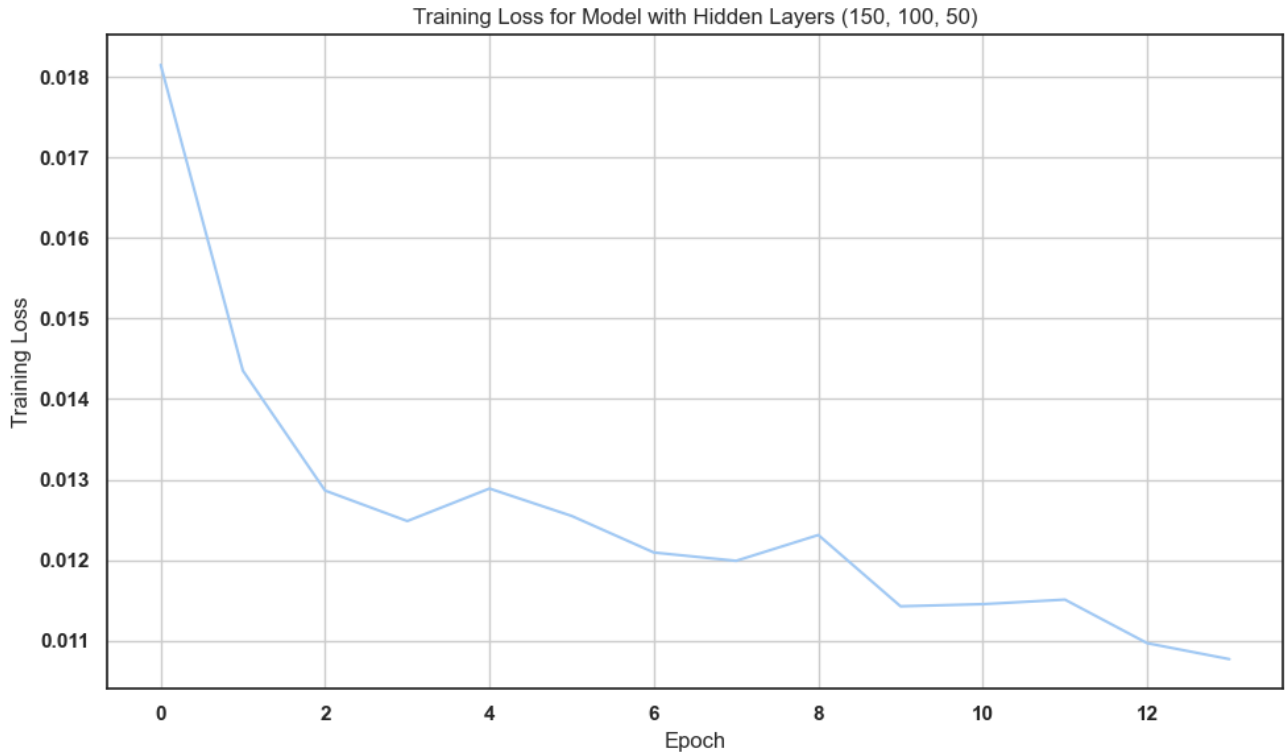


Рисунок Б.5 – Графік зміни функції втрат (loss function) під час навчання тришарового MLP з архітектурою (150, 100, 50) для прогнозування тривалості реалізації гібридних проєктів ліквідації надзвичайних ситуацій

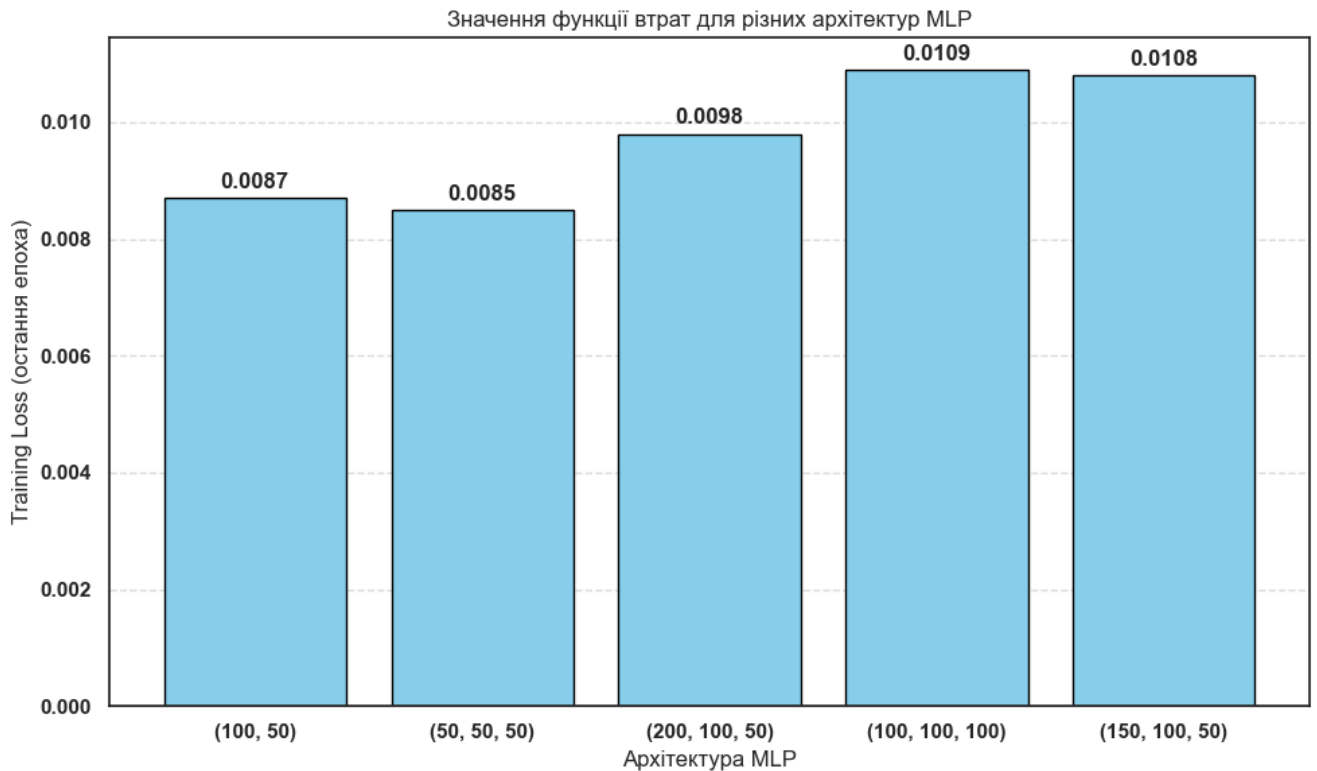


Рисунок Б.6 – Гістограма значень функції втрат (training loss) на останній епосі для кожної з п'яти досліджуваних архітектур багатошарового перцептрону (MLP)

Додаток В

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті у міжнародних наукових виданнях і тих, що входять до міжнародних наукометричних баз (МНБ):

1. **Ratushnyi A.**, Ptashnyk V., Koval L., Lub P., Tatomyr A. A Neural Network Model for Predicting the Duration of Emergency Response Projects. *IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*, 2023. 195025. P. 1-4. <https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324279> (0,9 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus.** *Особистий внесок автора полягає у розробці нейромережевої моделі для прогнозування тривалості гібридних проєктів реагування на надзвичайні ситуації та становить 0,4 друк. арк.*
2. Tryhuba A., **Ratushnyi A.**, Lub P., Rudynets M. and 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> (0,95 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus.** *Особистий внесок автора полягає у розробці моделі формування цінності від реалізації проєктів створення територіальних рятувальних структур для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій у післявоєнний період та становить 0,5 друк. арк.*
3. 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> (0,9 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus.** *Особистий внесок автора полягає у аналізі стану питання та здійсненні оцінки поточного стану транспортної інфраструктури заданого населеного пункту*

у післявоєнний період із використанням відкритого сервісу OpenStreetMap (OSM) та становить 0,25 друк. арк.

4. Tryhuba A., Ratushnyi R., **Ratushnyi A.**, Koval L., Andrukhiv D. Creating value from the implementation of project portfolios for the development of territorial security systems. *Security Forum*. 2025. No. 1. pp. 45–58. DOI: https://doi.org/10.26410/SF_1/25/3. (0,85 д. а.). **Видання входить до МНБ – Index Copernicus.** Особистий внесок автора полягає у аналізі сучасних підходів до управління проектами у сфері безпеки та формалізації концепції створення цінності. Внесок становить 0,25 друк. арк.

5. Tryhuba A.M., Ratushny R.T., Koval L.S., **Ratushnyi A.R.** Predicting the level of availability of volunteer rescue teams in rural communities based on openstreetmap data and deep learning. *Radio electronics, computer science, control*. 2025. No. 4. pp. 154–172. DOI <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2025-4-14> **Видання входить до МНБ – Web of Science.** Особистий внесок автора полягає у формулюванні проблеми та обґрунтуванні використання геопросторових даних для моделювання розміщення рятувальних підрозділів у сільській місцевості. Внесок становить 0,25 друк. арк.

Статті у наукових фахових виданнях України:

6. Tryhuba A. M., Koval N. Ya., **Ratushnyi A. R.**, Tryhuba I. L., Shevchuk V. V. Algorithm for the routes formation of food raw materials procurement on the community territory taking into account the production conditions during emergency situations. *Applied Aspects of Information Technology*. Publ. Nauka i Tekhnika. Odessa: Ukraine. 2023; Vol. 6 No.1: 60–73. <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.5> (1,1 д. а.). Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні специфічних виробничих умов, які зумовлюють тривалість руху транспортних засобів під час надзвичайних ситуацій на заданій території, що становить 0,2 друк. арк.

7. 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: <https://doi.org/10,31734/agroengineering2023.27.113>. (1,1 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в формуванні варіантів конфігурації проєктів безпеки та визначення показників доцільності їх включення у портфель розвитку громади, що становить 0,2 друк. арк.*

8. Тригуба А. М., **Ратушний А. Р.**, Демчина В. Р., Коваль Л. С. Особливості управління проєктами відновлення транспортної та безпекової інфраструктури сільських громад у післявоєнний період. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 2023, 28, 44-54. <https://doi.org/10,32447/20784643.28.2023.05> (1,2 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні структурної моделі системи управління проєктами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, що становить 0,3 друк. арк.*

9. Тригуба А. М., Демчина В. Р., **Ратушний А. Р.**, Коваль Л. С. Метод та результати визначення пріоритетних об'єктів під час ініціації проєктів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 2024, 29, 141-151. <https://doi.org/10,32447/20784643.29.2024.15> (1,01 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в отриманні та аналізі просторових даних про об'єкти транспортної інфраструктури із відкритого сервісу OpenStreetMap для ініціації проєктів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час, що становить 0,2 друк. арк.*

10. Демчина В. Р., **Ратушний А. Р.** Модель та результати оцінення стану населених пунктів під час реалізації проєктів розвитку транспортної інфраструктури у післявоєнний період. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2024, Вип. 1(144), 46-53. <https://doi.org/10,32782/1995-0519.2024.1.6> (0,65 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в аналізі стану питання в науці та практиці управління проєктами, а також у аналізі транспортної інфраструктури населених пунктів, що перебувають у зоні бойових дій, який дозволяє здійснити оцінку*

доцільності створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період, що становить 0,3 друк. арк.

11. Тригуба А. М., Ратушний Р. Т., **Ратушний А. Р.**, Коваль Л. С. Івануса А.І. Оптимізація безпекової інфраструктури у програмах післявоєнного відновлення з використанням сучасних геоінформаційних систем. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 2025. 31, 196-212. <https://doi.org/10.32447/20784643.31.2025.20> (1,53 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в розробці методу оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів на заданій адміністративній території, що становить 0,65 друк. арк.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

12. Тригуба А. М., **Ратушний А. Р.**, Рудинець М. В., Федорчук-Мороз В. І. Алгоритм та програмне забезпечення обґрунтування раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад. *Інформаційні технології в енергетиці та агропромисловому комплексі: матеріали XI Міжнар. наук. Конференції*. Львів, 04-06 жовтня 2022 р. Львів : ЛНУП, 2022. С. 67-71. (0,2 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у розробці алгоритму обґрунтування раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад та становить 0,07 друк. арк.*

13. **Ратушний А.**, Коваль Н., Коваль Л., Тригуба Б. Сучасні інформаційні технології планування створення добровільних рятувальних формувань для сільських громад. *Інформаційна безпека та інформаційні технології: збірник тез доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, студентів і курсантів, м. Львів, 30 листопада 2023 року*. Львів, ЛДУ БЖД, 2023. С. 398-400, (0,2 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні головних складових, які впливають на ефективність процесу планування створення добровільних рятувальних формувань для сільських громад та становить 0,05 друк. арк.*

14. Тригуба А. М., **Ратушний А. Р.** Прикладне програмне забезпечення для визначення раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад у повоєнний період. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництва: каталог інноваційних розробок*; за заг. ред. В. В. Снітинського, Б. І. Гулька. Вип. 23. Львів: Львів. нац. ун-т. природ., 2023. С. 47. (0,08 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у розробленні прикладного програмного забезпечення для визначення раціональної конфігурації систем безпеки територіальних громад у повоєнний період та становить 0,05 друк. арк.*

15. Тригуба А.М., Татомир А.В., **Ратушний А.Р.**, Коваль Л.С. Алгоритм визначення ефективних сценаріїв проєктів розвитку систем безпеки на території громад. *Інформаційні технології в енергетиці та агропромисловому комплексі: матеріали XII Міжнар. наук. конференції (Львів, 04-06 жовтня 2023 р.)*. ЛНУП : За заг. ред. В. В. Снітинського. Львів : ЛНУП, 2023. С. 73-75. (0,125 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні доцільності використання великих даних, які сформовані на території окремих громад, а також моделей машинного навчання, для розробки інструментарію визначення ефективних сценаріїв проєктів розвитку систем безпеки та становить 0,04 друк. арк.*

16. Тригуба А. М., Демчина В. Р., **Ратушний А. Р.**, Коваль Л. С. Визначення сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури населених пунктів у післявоєнний час. *Управління проєктами у розвитку суспільства: Управління проєктами післявоєнної розбудови України: тези доп. XXI -ї Міжн. конф.*, Київ: КНУБА, 2024. С.229-232. (0,18 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні доцільності реалізації проєктів відновлення об'єктів інфраструктури населених пунктів у післявоєнний час та становить 0,05 друк. арк.*

17. Тригуба А. М., Демчина В. Р., **Ратушний А. Р.**, Коваль Л. С., Андрушків О. Я. Архітектура системи збору даних та моделі об'єктів інфраструктурних проєктів. *Вчені Львівського національного аграрного*

університету виробництву: каталог інноваційних розробок; за заг. ред. В. І. Лопушняка, Б. І. Гулька. Вип. 24. Львів: Львів. нац. ун-т. природ., 2024. С. 27. (0,08 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у визначенні у розробці моделей об'єктів інфраструктурних проєктів та становить 0,015 друк. арк.*

18. **Ратушний А.**, Коваль Л., Тригуба А. Модель узгодження конфігурацій проєктів створення добровільних рятувальних формувань для сільських громад із характеристиками проєктного середовища у післявоєнний період. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів.*, м. Львів 28-29 березня 2024 року. Львів: ЛДУ БЖД, 2024. С. 361-365. (0,2 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у розробленні моделі процесу узгодження конфігурацій проєктів створення добровільних рятувальних формувань із характеристиками проєктного середовища у післявоєнний період та становить 0,08 друк. арк.*

19. Ратушний Р., **Ратушний А.**, Андрухів Д. Менеджмент гібридних проєктів систем безпеки. *Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення : збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Львів, 13 грудня 2024 року. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С. 203-205. (0,125 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні особливостей планування та реалізації гібридних проєктів із використанням сучасних методологій проєктного менеджменту та становить 0,04 друк. арк.*

20. Тригуба А.М., Коваль Л.С., **Ратушний А.Р.**, Андрушків О.Я., Олійник Р.І. Доцільність та особливості реалізації проєктів розвитку інфраструктури регіонів у післявоєнний час. Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи в управлінні проєктами та програмами», Коблево, 9–13 вересня 2024 р. Збірник праць. Харків: ХНУРЕ, 2024. С. 220-224. (0,167 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні*

особливостей реалізації проєктів створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період та становить 0,04 друк. арк.

21. **Ратушний А.Р.,** Коваль Л.С. Інтеграція ризик-менеджменту та ціннісного підходу в управління проєктами пожежної безпеки громад. *Інновінг сучасних трендів в менеджменті безпеки: національна безпека та оборона : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції*, м. Львів, 23 травня 2025 року. Львів: ЛДУБЖД, 2025. С. 308-313. (0,255 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні моделі управління проєктами пожежної безпеки громад на основі ціннісно-гібридного підходу та становить 0,155 друк. арк.*

22. **Ратушний А.Р.,** Коваль Л.С., Тригуба А.М. Автоматизована кластеризація пошкоджень доріг для руху пожежно рятувальних формувань на заданій території у післявоєнний період. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів*, м. Львів, 27-28 березня 2025. Львів: ЛДУБЖД, 2025. С. 418-422. (0,26 д. а.). *Особистий внесок автора полягає у обґрунтуванні автоматизованої кластеризації пошкоджень доріг для руху пожежно рятувальних формувань на заданій території у післявоєнний період та становить 0,08 друк. арк.*

Додаток Д

Відомості про апробацію результатів дисертації

1. 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT) (Lviv, 2022), форма участі – очна (онлайн).
2. 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023) (Kyiv, 2023), форма участі – очна (онлайн).
3. 5nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2024) (Bratislava, 2024), форма участі – очна (онлайн).
4. XI-th International scientific conference «Information technologies in energy and agro-industrial complexitea» (ITEA 2022) (Lviv, 2022), форма участі – очна (онлайн).
5. VI Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, студентів і курсантів «Інформаційна безпека та інформаційні технології» (Львів, 2023), форма участі – очна.
6. XII Міжнародній науковій конференції «Інформаційні технології в енергетиці та агропромисловому комплексі» (Львів, 2023), форма участі – очна.
7. XXI Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проєктами післявоєнної розбудови України» (Київ, 2024), форма участі – очна (онлайн).
8. XIX Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (Львів, 2024), форма участі – очна.
9. Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення» (Львів, 2024), форма участі – очна.
10. Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи в управлінні проєктами та програмами» (Коблево, 2024), форма участі – очна (онлайн).

11. Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інновінг сучасних трендів в менеджменті безпеки: національна безпека та оборона» (Львів, 2025), форма участі – очна.

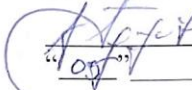
12. XX Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (Львів, 2025), форма участі – очна.

13. Звітних конференціях адюнктів та здобувачів Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (Львів, 2021–2025), форма участі – очна.

Додаток Е

Акти впровадження науково-дослідної роботи у практику

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор університету із навчально-методичної роботи
полковник служби цивільного захисту Олександр ПРИДАТКО
09 2025 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертації

РАТУШНОГО Андрія Романовича**«Ціннісно-гібридне управління проектами створення територіальних
пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період»**

Цим актом підтверджується, що впроваджені у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності результати дисертації РАТУШНОГО Андрія Романовича в рамках виконання науково-дослідної роботи «Наукові основи повосного відновлення та реновації регіональних систем критичної інфраструктури України: Бенчмаркінг світового досвіду та HR-фактор» (ДР № 01231Л102890), використані у навчальному процесі під час викладання освітніх компонент «Управління проєктами розвитку організацій», «Планування та контроль проєктів із використанням ІТ» та «Інтелектуальні системи аналізу даних та підтримки прийняття рішень» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) та третього (PhD) рівня вищої освіти спеціальностей 073 «Менеджмент» освітньо-професійна програма «Управління проектами» та 122 «Комп'ютерні науки».

Професор кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту
д.т.н, професор,
заслужений діяч науки і техніки України

Олег ЗАЧКО

Начальник кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту
к.ю.н., доцент

Андрій САМІЛО

Начальник кафедри інформаційних технологій та систем електронних комунікацій
к.т.н., доцент

Назарій БУРАК

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Начальник Головного управління
 ДСНС України у Львівській області
 Юрій КАГІН
 « 15 » _____ 2025 р.

АКТ про впровадження НДР у практику

Ми, що підписалися нижче, начальник управління реагування на надзвичайні ситуації, полковник служби цивільного захисту Ігор УЩАПІВСЬКИЙ та заступник начальника головного управління – начальник управління цивільного захисту та превентивної діяльності, полковник служби цивільного захисту Любомир ПАСІЧНИК Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Львівській області, з однієї сторони, а також виконавці НДР, ад'юнкт Андрій РАТУШНИЙ та професор кафедри інформаційних технологій та систем електронних комунікацій, д.т.н., професор Анатолій ТРИГУБА Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, з другої сторони, склали цей акт про впровадження результатів закінченої науково-дослідної роботи «Ціннісно-гібридне управління проектами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період».

В результаті НДР виконано: 1) розроблено моделі і методи ціннісно-гібридного управління проектами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період; 2) розроблено програмні модулі для оптимізації розташування пожежно-рятувальних підрозділів; 3) розроблено інформаційну систему підтримки прийняття рішень для кількісної оцінки показників базової цінності проектів створення територіальних аварійно-рятувальних структур.

У практику Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Львівській області впроваджено: 1) методику ціннісно-гібридного управління проектами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період; 2) рекомендації щодо ціннісно-гібридного управління проектами створення територіальних пожежно-рятувальних структур у післявоєнний період.

Ігор УЩАПІВСЬКИЙ
 Любомир ПАСІЧНИК

Андрій РАТУШНИЙ
 Анатолій ТРИГУБА