

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПАВУК Ігор Володимирович

УДК 005.8:005.334:621.311.21

ДИСЕРТАЦІЯ

**РИЗИК МЕНЕДЖМЕНТ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ
(НА ПРИКЛАДІ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ)**

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

_____ І. В. Павук

Науковий керівник:

Кобилкін Дмитро Сергійович, кандидат технічних наук, доцент

АНОТАЦІЯ

Павук І. В. Ризик менеджмент об'єктів критичної інфраструктури (на прикладі гідроелектростанцій). – 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.

У дисертації на підставі проведених досліджень розв'язано науково-прикладну задачу підвищення ефективності управління ризиками у проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів. Це зроблено завдяки розробленню моделей і методів тактичного ризик-менеджменту, які базуються на процесах цифрового управління змінами проєктного середовища та формування стратегій забезпечення стійкості об'єктів в умовах невизначеності.

Обґрунтовано теоретико-методологічні засади ризик-менеджменту в системах управління проєктами розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності та цифрової трансформації. Встановлено, що врахування ризиків та використання для цього цифрових технологій сприяє розробленню ефективних моделей та методів, які підвищують точність прийняття управлінських рішень. Адаптація інструментів ризик-менеджменту до умов підвищеної невизначеності та багатофакторності проєктного середовища впродовж усіх фаз життєвого циклу проєкту, дозволяє своєчасно реагувати на зміни проєктного середовища, мінімізувати негативні наслідки ризикових подій і забезпечувати стійкий розвиток об'єктів критичної інфраструктури.

Розроблено модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах. Вона передбачає врахування сучасних гібридних загроз і динамічного проєктного середовища, а також використання системного підходу до ідентифікації, оцінки та розроблення реакцій на ризики. Це забезпечує інтеграцію цифрових рішень у тактичний рівень управління інфраструктурними проєктами та дає можливість підвищити стійкість об'єктів до кризових та воєнних впливів.

Запропонований метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності передбачає виконання 6 етапів. Вони базуються на цифровізації управлінських процесів, які забезпечують зростання стійкості об'єктів критичної інфраструктури за умов невизначеності. Також передбачено поєднання цифрових інструментів із просторовим аналізом ризиків, що дозволяє не лише локалізувати вразливі зони, але й адаптивно реагувати на загрози в режимі реального часу за динамічного проектного середовища.

Удосконалено концептуальну модель цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури. Вона базується на поєднанні цифрових технологій з класичними процесами управління, що забезпечує цілісне охоплення всіх етапів адаптації інфраструктурних проєктів до динамічного середовища. На відміну від існуючих моделей дозволяє вчасно реагувати на зміни проектного середовища, знижувати вплив ризиків і підвищувати ефективність реалізації зазначених проєктів.

Удосконалено модель формування стратегії проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій. Вона передбачає використання цілісної проектно-орієнтованої системи управління. На відміну від існуючих моделей дає можливість виконати інтеграцію різних управлінських рівнів і взаємодії основних стейкхолдерів, що лежить в основі зменшення ризиків реалізації проєктів, підвищення прозорості процесів і забезпечення стійкого розвитку гідроелектростанцій в умовах невизначеності.

Розроблені алгоритм та система підтримки прийняття управлінських рішень для тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах базуються на запропонованій моделі тактичного управління ризиками. Запропонована система підтримки прийняття управлінських рішень реалізована у вигляді інтерактивного десктопного додатку. Тестування системи підтримки прийняття управлінських рішень підтвердило, що загальна точність розрахунків становить 98.4%, а повторюваність результатів – 98.8%. Рекомендується використання цього інструментарію для управління ризиками на етапах планування та реалізації інфраструктурних проєктів в умовах невизначеності.

Використанню запропонованого інструментарію забезпечило апробацію запропонованих моделей і методів на прикладах проєктів розвитку гідроелектростанцій. Обґрунтовано рекомендації для проєктних менеджерів щодо управління ризиками проєктів розвитку гідроелектростанцій. Встановлено, що найкращі показники ризику спостерігаються за базового сценарію стану проєктного середовища, де інтегральний ризик становить 0.37, а залишковий – лише 0.06, що забезпечує ймовірність успіху проєкту на рівні 76.5%. За результатами розрахунків встановлено, що оптимальний обсяг страхового резерву для забезпечення фінансової стійкості проєкту реконструкції Касперівської ГЕС становить не менше 70 млн. грн. Це забезпечує стабільність навіть у випадку реалізації критичних ризикових сценаріїв реалізації проєкту та свідчить про ефективність запропонованої моделі управління.

У практичну діяльність Департаменту з питань оборонної роботи, цивільного захисту населення та взаємодії з правоохоронної роботи Тернопільської обласної державної адміністрації та Головному управлінні ДСНС України у Львівській області впроваджено методичку та рекомендації щодо управління ризиками проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури з урахуванням цифровізації управлінських процесів та підвищення стійкості до дії зовнішніх загроз. Встановлено, що запропонований інструментарій дає можливість знизити ризик на 18,2%, підвищити успіх реалізації проєктів на 12,3% та стійкість ГЕС на 14,3%. Впровадження у практику інструментарію для проєктних менеджерів підтверджує його ефективність.

Ключові слова: управління, проєкти, ризик, невизначеність, моделі, методи, розвиток, критична інфраструктура, стійкість, ефективність.

ABSTRACT

Pavuk I.V. Risk management of critical infrastructure facilities (on the example of hydroelectric power plants). – 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.

The dissertation solves the scientific and applied problem of improving the efficiency of risk management in infrastructure development projects based on the research conducted. This is done through the development of models and methods of tactical risk management based on the processes of digital management of changes in the project environment and the formation of strategies to ensure the sustainability of facilities under conditions of uncertainty.

The theoretical and methodological foundations of risk management in project management systems for the development of critical infrastructure facilities under conditions of uncertainty and digital transformation are substantiated. It has been established that taking into account risks and using digital technologies for this purpose contributes to the development of effective models and methods that will increase the accuracy of management decision-making. Adaptation of risk management tools to the conditions of increased uncertainty and multifactoriality of the project environment during all phases of the project life cycle allows timely response to changes in the project environment, minimizing the negative effects of risk events and ensuring the sustainable development of critical infrastructure facilities.

A model of tactical risk management in infrastructure projects has been developed. It involves taking into account modern hybrid threats and a dynamic project environment, as well as using a systematic approach to identifying, assessing, and developing responses to risks. This ensures the integration of digital solutions into the tactical level of infrastructure project management and makes it possible to increase the resilience of facilities to crisis and military impacts.

The proposed method of increasing the resilience of critical infrastructure facilities under conditions of uncertainty involves 6 stages. They are based on the digitalization of management processes that ensure the growth of critical infrastructure resilience under conditions of uncertainty. It also involves combining

digital tools with spatial risk analysis, which allows not only to localize vulnerable areas but also to respond to threats in real time in a dynamic project environment.

The conceptual model of digital change management in critical infrastructure development projects has been improved. It is based on the combination of digital technologies with classical management processes, which ensures comprehensive coverage of all stages of infrastructure project adaptation to a dynamic environment. Unlike existing models, it allows for timely response to changes in the project environment, reducing the impact of risks and increasing the efficiency of these projects.

The model for forming a strategy for project-oriented risk management of hydropower development has been improved. It involves the use of an integrated project-oriented management system. Unlike existing models, it allows for the integration of different management levels and the interaction of key stakeholders, which is the basis for reducing project implementation risks, increasing process transparency, and ensuring the sustainable development of hydropower plants under conditions of uncertainty.

The developed algorithm and management decision support system for tactical risk management in infrastructure projects are based on the proposed model of tactical risk management. The proposed management decision support system is implemented as an interactive desktop application. Testing of the management decision support system has confirmed that the overall accuracy of calculations is 98.4% and the repeatability of results is 98.8%. It is recommended to use this toolkit for risk management at the planning and implementation stages of infrastructure projects under conditions of uncertainty.

The use of the proposed toolkit was ensured by testing the proposed models and methods on examples of hydroelectric power plant development projects. Recommendations for project managers on risk management of hydropower development projects are substantiated. It is established that the best risk indicators are observed in the baseline scenario of the project environment, where the integral risk is 0.37 and the residual risk is only 0.06, which ensures the probability of project success at the level of 76.5%. According to the results of the calculations, the optimal

amount of the insurance reserve to ensure the financial stability of the Kasperivska HPP reconstruction project is at least UAH 70 million. This ensures stability even in the event of critical risk scenarios of project implementation and demonstrates the effectiveness of the proposed management model.

The methodology and recommendations for managing the risks of critical infrastructure development projects, taking into account the digitalization of management processes and increasing resilience to external threats, have been implemented in the practical activities of the Department for Defense Work, Civil Protection of the Population and Interaction with Law Enforcement Work of the Ternopil Regional State Administration and the Main Directorate of the State Emergency Service of Ukraine in Lviv Region. It has been established that the proposed toolkit makes it possible to reduce risk by 18.2%, increase project success by 12.3%, and HPP sustainability by 14.3%. The implementation of the toolkit for project managers confirms its effectiveness.

Key words: management, projects, risk, uncertainty, models, methods, development, critical infrastructure, sustainability, efficiency.

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. Sodoma R., Kobylkin, D., Shmatkovska T., **Pavuk I.** Management of infrastructure development projects of Ukraine and rural areas. Scientific Papers Series “Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development”. 2024. Volume 24. Issue 3/2024. P. 821–831. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19060686> (0,625 д. а.). ***Видання входить до МНБ – Web of Science. Особистий внесок автора полягає у формалізації моделі цифрового ризик-менеджменту проєктів розвитку об’єктів критичної інфраструктури та розробленні концептуальної схеми цифрової інтеграції, що становить 0,125 друк. арк.***

2. Sodoma R., Kobylkin D., **Pavuk I.** Project-oriented management of digitization of socio-economic development of territorial communities. Proceedings of the 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023). Warsaw 2023. P. 36–46. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19061286> (0,75 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus.** *Особистий внесок автора полягає у розробці моделі формування стратегії проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку об'єктів критичної інфраструктури та становить 0,3 друк. арк.*

3. Sodoma R., Kohut M., **Pavuk I.**, Kobylkin D., Balash L. Management of digitization of infrastructure projects and programs. Proceedings of the 5th International Workshop IT Project Management (ITPM 2024). Bratislava 2024. P. 67–76. https://doi.org/10.23939/IW_itpm2024.067 (0,645 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus.** *Особистий внесок автора полягає у описі особливостей, розробці концептуальної моделі цифрового управління змінами у проектах розвитку об'єктів критичної інфраструктури та становить 0,2 друк. арк.*

4. Kobylkin D., Havrys A., Rogulia A., Sodoma R., **Pavuk I.**, Avdieyeva K., Filippova V. Safety-oriented management of protection projects of critical infrastructure objects. Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development. 2025. Vol. 47. № 4. P. 537–548. <https://doi.org/10.15544/mts.2025.42> (1,0 д. а.). **Видання входить до МНБ – Web of Science.** *Особистий внесок автора полягає у формуванні методичного підходу до безпеко-орієнтованого управління проектами захисту об'єктів критичної інфраструктури на основі інтеграції інструментів проектного менеджменту та ризик-менеджменту, що становить 0,2 друк. арк.*

Статті у наукових фахових виданнях України:

5. Кобилкін Д.С., **Павук І.В.** Моделювання процесів тактичного управління ризиками в інфраструктурних проектах, програмах та портфелях проектів. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2023. № 28. С. 14–23. <https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.02> (0,84 д. а.). **Категорія Б.** *Особистий внесок автора полягає у аналізі наукових досліджень з управління*

ризиками в інфраструктурних проєктах, розробці концепції та моделі тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах та становить 0,25 друк. арк.

6. Содома Р.І., **Павук І.В.**, Кобилкін Д.С. Безпеко-орієнтоване управління ресурсами в реалізації інфраструктурних проєктів. Електронний журнал «Інфраструктура ринку». 2024. №79. С. 178–183. <https://doi.org/10.32782/infrastruct79-30> (0,6 д. а.). **Категорія Б.** *Особистий внесок автора полягає у розробці підходу до інтеграції ризик-менеджменту у етапи життєвого циклу інфраструктурного проєкту та становить 0,3 друк. арк.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Kobylkin D.S., **Pavuk I.V.** Analysis of risks when planning projects to create critical infrastructure objects. РМ Київ 2023 «Управління проєктами у розвитку суспільства». Тема: «Управління проєктами післявоєнної розбудови України»: тези доповідей / відповідальний за випуск С.Д.Бушуєв. Київ: КНУБА, 2023. С. 37–41. (0,18 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні особливості процесу аналізу ризиків під час планування проєктів створення об'єктів критичної інфраструктури та становить 0,1 друк. арк.*

8. **Павук І.В.**, Кобилкін Д.С. Особливості формування концепції управління проєктними ризиками на об'єктах критичної інфраструктури. Інновінг сучасних трендів в менеджменті безпеки: Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції. Львів: ЛДУ БЖД, 26 травня 2023. С. 59–60. (0,11 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні особливостей формування концепції управління проєктними ризиками на об'єктах критичної інфраструктури та становить 0,06 друк. арк.*

9. **Pavuk I.**, Kobylkin D. Intelligent project-oriented risk management at critical infrastructure objects. Міжнародна науково-практична конференція «Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проєктами та програмами», Коблево, 12–15 вересня 2023 р. Збірник праць. Харків: ХНУРЕ, 2023. С. 36–37. (0,15 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні особливості*

інтелектуального проєктно-орієнтованого підходу до управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури та становить 0,08 друк. арк.

10. **Павук І.**, Кобилкін Д. Особливості формування життєвого циклу інфраструктурних проєктів в умовах ризиків. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2024. С. 376–378. (0,17 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в описі життєвого циклу розвитку інфраструктурних об'єктів в умовах невизначеності та ризиків та становить 0,1 друк. арк.*

11. Ковальчук О., Кобилкін Д., **Павук І.** Управління проєктами в епоху штучного інтелекту та гнучких методологій. Інформаційні системи в управлінні проєктами та програмами. Коблево, 9–13 вересня 2024 р. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: ХНУРЕ. 2024. С. 119–121. (0,14 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні доцільності застосування інтелектуального проєктно-орієнтованого управління ризиками під час реалізації проєктів у динамічному проєктному середовищі та становить 0,06 друк. арк.*

12. **Павук І.В.**, Кобилкін Д.С., Ковальчук О.І. Особливості формування проєктів захисту критичної інфраструктури в умовах воєнного стану. РМ Київ 2024 «Управління проєктами у розвитку суспільства». Тема: «Управління проєктами післявоєнної розбудови України»: тези доповідей / відповідальний за випуск С.Д.Бушуєв. Київ: КНУБА. 2024. С. 120–124. (0,16 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні особливостей захисту об'єктів критичної інфраструктури під час реалізації інфраструктурних проєктів в умовах воєнного стану та становить 0,07 друк. арк.*

ЗМІСТ

ВСТУП	14
Розділ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ РОЗВИТКУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ’ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	23
1.1. Аналіз впливу інфраструктурного розвитку регіонів України на ефективність управління проєктами критичної інфраструктури	23
1.2. Стан теорії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку об’єктів критичної інфраструктури в умовах цифровізації	27
1.3. Аналіз методологічних підходів та результатів досліджень з управління ризиками в інфраструктурних проєктах	36
1.4. Виділення невирішеної наукової задачі та формування концепції наукового дослідження	42
Висновки до розділу 1	45
Розділ 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ РИЗИК- МЕНЕДЖМЕНТУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ КРИТИЧНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ	47
2.1. Життєвий цикл розвитку інфраструктурних об’єктів в умовах невизначеності та ризиків	47
2.2. Інтеграція ризик-менеджменту у етапи життєвого циклу інфраструктурного проєкту	52
2.3. Концепція управління ризиками інфраструктурних проєктів	61
2.4. Особливості процесу аналізу ризиків під час планування проєктів створення об’єктів критичної інфраструктури	65
2.5. Передумови підвищення ефективності ризик-менеджменту у проєктах розвитку об’єктів критичної інфраструктури	68
2.6. Цифровізація процесу управління змінами у проєктах розвитку об’єктів критичної інфраструктури	74
2.7. Інтелектуальне проєктно-орієнтоване управління ризиками на об’єктах критичної інфраструктури	78

	12
2.8. Особливості та доцільність захисту об'єктів критичної інфраструктури під час реалізації інфраструктурних проєктів в умовах воєнного стану	80
Висновки до розділу 2	83
Розділ 3. МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРОЄКТІВ РОЗВИТКУ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ.....	86
3.1. Модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах ...	86
3.2. Концептуальна модель цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури.....	94
3.3. Модель формування стратегії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій.....	101
3.4. Метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів.....	107
Висновки до розділу 3	122
Розділ 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ НА ПРИКЛАДІ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	124
4.1. Алгоритм та система підтримки прийняття рішень для тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах	124
4.2. Результати дослідження впливу динамічного проєктного середовища на ризик проєктів розвитку гідроелектростанцій	133
4.3. Результати практичної реалізації моделі проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанції на прикладі Касперівської ГЕС.....	138
4.4. Результати оцінки стійкості проєктів розвитку гідроелектростанції в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів.....	146
4.5. Рекомендацій для проєктних менеджерів щодо управління ризиками проєктів розвитку гідроелектростанцій	153
Висновки до розділу 4	155
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	158
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	162
ДОДАТКИ.....	187

Додаток А. Результати розробки СППР тактичного управління ризиками інфраструктурних проєктів	188
Додаток Б. Результати дослідження впливу динамічного проєктного середовища на ризик проєктів розвитку гідроелектростанцій.....	190
Додаток В. Результати формування стратегії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій	192
Додаток Г. Результати визначення показників ефективності від впровадження проєктно-орієнтованої моделі управління ризиками реконструкції Касперівської ГЕС.....	193
Додаток Д. Список публікацій здобувача за темою дисертації	194
Додаток Е. Відомості про апробацію результатів дисертації.....	198
Додаток Ж. Акти впровадження науково-дослідної роботи у практику.....	199

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах затяжної воєнної агресії, поглиблення енергетичної кризи та зростаючих викликів, пов'язаних з безпекою, особливе значення мають управлінські задачі щодо забезпечення стійкості та ефективного функціонування об'єктів критичної інфраструктури [20, 68]. Гідроелектростанції, як частина цієї інфраструктури, забезпечують не лише виробництво електроенергії, але й виконують стратегічно важливі функції, які пов'язані із забезпечення водопостачання та стабілізації роботи регіональних енергосистем. Їх розвиток можливий за реалізації відповідних проєктів. Вони особливо актуальні для територій, які знаходяться в зоні потенційних загроз або реальних бойових дій, мають обмежену доступність до інших джерел енергії.

Динамічне проєктне середовище, в якому реалізуються проєкти розвитку та модернізації гідроелектростанцій, характеризується високою мінливістю [43, 59]. Воно зумовлює ризики та зростаючий рівень невизначеності. У таких умовах стає очевидною потреба у впровадженні сучасних систем управління ризиками. Вони мають бути адаптивними, проєктно-орієнтованими та базуватися на цифрових технологіях.

Традиційні підходи до управління ризиками проєктів розвитку об'єктів гідроенергетики, засновані на статичних оцінках, передбачають обмежене врахування загроз і використання ручних процедур моніторингу. Вони не відповідають сучасним потребам проєктних менеджерів. Недостатня здатність оперативно реагувати на зміни проєктного середовища, а також відсутність цілісної інтеграції ризиків у загальну архітектуру управлінського процесу, призводить до посилення вразливості об'єктів та зростання соціальних і економічних втрат у випадку виникнення загроз під час реалізації проєктів. У зв'язку з цим, достатньо актуальним є розроблення та впровадження моделей та методів ризик-менеджменту, які поєднують аналітичні підходи, цифрові інструменти і здатність до адаптації в умовах змін проєктного середовища.

Значний внесок у розроблення підходів, методологій і практичних засобів управління ризиками у проєктах, програмах та їх портфелях зробили як українські, так і зарубіжні вчені. Серед них варто відзначити праці С. Д. Бушуєва, Н. С. Бушуєвої, В. О. Вайсмана, Т. А. Воркут, В. І. Воропаєва, В. Д. Гогунського, О. Б. Данченко, Є. А. Дружиніна, О. Б. Зачка, К. В. Колеснікової, І. В. Кононенка, А. В. Кошкіна, В. В. Морозова, В. М. Пітерської, Ю. П. Рака, Р. Т. Ратушного, В. А. Рача, С. В. Руденка, О. В. Сидорчука, Ю. М. Теслі, А. М. Тригуби, А. М. Харченко, В. О. Хрутьби, С. К. Чернова, І. В. Чумаченка, А. В. Шахова та інших. Їх дослідження забезпечили формування концепцій, моделей і методів, що використовуються в управлінні ризиками проєктів різних сфер. Водночас, для управління ризиками у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури, зокрема гідроелектростанцій, наявний інструментарій не повною мірою відповідає вимогам цифрової епохи та потребує подальшого вдосконалення й адаптації до нових умов проєктної діяльності.

Дисертація забезпечує розв'язання важливої науково-прикладної задачі підвищення ефективності управління ризиками у проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів шляхом розроблення моделей і методів тактичного ризик-менеджменту, які базуються на процесах цифрового управління змінами проєктного середовища та формування стратегій забезпечення стійкості об'єктів в умовах невизначеності. Отже, дослідження, проведені у дисертації, спрямовані на вирішення актуальної науково-прикладної управлінської задачі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано відповідно до положень «Національної енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р), а також «Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 05.08.2020 р. № 695). Окрему увагу приділено завданням, викладеним у Програмі розвитку гідроенергетики України до 2035 року, яка передбачає модернізацію та підвищення надійності гідроелектростанцій, враховуючи ризики техногенного, природного та кібернетичного характеру.

Зміст і результати дослідження також узгоджуються з регіональними програмами енергетичної безпеки та сталого розвитку, зокрема з ініціативами щодо підвищення стійкості об'єктів енергетичної інфраструктури у Західному регіоні України, відповідають концепції НДР Львівського державного університету безпеки життєдіяльності «Розроблення управлінських, організаційних, технічних, інформаційних методів та заходів у галузі цивільного захисту», а також, планам НДР кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності «Наукові основи повоєнного відновлення та реновації регіональних систем критичної інфраструктури України: бенчмаркінг світового досвіду та HR-фактор» (ДР № 0123U102890), у якій автор розробив нові та удосконалив існуючі моделі та методи управління ризиками у проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів.

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи є розробка моделей і методів ризик-менеджменту для забезпечення ефективної реалізації проєктів розвитку інфраструктурних об'єктів в умовах підвищеної невизначеності та загроз.*

Для досягнення поставленої мети було визначено такі *завдання*:

- проаналізувати сучасний стан теорії та практики управління ризиками в проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах цифровізації та невизначеності, а також виділити невирішені наукові задачі та сформувані концепцію наукового дослідження;
- обґрунтувати теоретико-методологічні засади ризик-менеджменту в системах управління проєктами розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності та цифрової трансформації;
- розробити модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах та метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів;
- удосконалити концептуальну модель цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури та модель формування

стратегії проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій;

– розробити алгоритм та систему підтримки прийняття управлінських рішень для тактичного управління ризиками в інфраструктурних проектах;

– провести апробацію запропонованих моделей і методів на прикладах проектів розвитку гідроелектростанцій та обґрунтувати рекомендації для проектних менеджерів щодо управління ризиками проектів розвитку гідроелектростанцій;

– впровадити у практику методику та рекомендації щодо управління ризиками проектів розвитку об'єктів критичної інфраструктури з урахуванням цифровізації управлінських процесів та підвищення стійкості до дії зовнішніх загроз.

Об'єктом дослідження є управлінські процеси в проектах розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах ризиків і невизначеності.

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби управління ризиками в інфраструктурних проектах, а також вплив цифровізації управлінських процесів на стійкість та ефективність функціонування об'єктів критичної інфраструктури.

Методи дослідження. Науково-прикладна задача підвищення ефективності управління ризиками у проектах розвитку інфраструктурних об'єктів розв'язувалась на основі використання чинних міжнародних стандартів управління проектами, методологій ризик-менеджменту та сучасних цифрових технологій для підтримки прийняття управлінських рішень. Для структуризації управлінських процесів застосовано системний підхід до опису взаємозв'язків між етапами життєвого циклу проекту, групами ризиків та стейкхолдерами. Методологічну базу дослідження сформовано на основі поєднання методів аналізу та синтезу для побудови узагальненої моделі управління ризиками у інфраструктурних проектах, індукції та дедукції для обґрунтування етапів цифровізації управлінських процесів, аналогій для порівняння міжнародного досвіду управління інфраструктурними проектами в умовах невизначеності. Застосовано методи математичного моделювання для оцінки рівня інтегральної стійкості проектів, теорію нечіткої логіки для визначення сценаріїв розвитку подій, а також методи багатокритеріального прийняття рішень для вибору

ефективних стратегій реагування на ризики. Для аналізу залежності між цифровою зрілістю та ризиками впроваджено методи кореляційного і регресійного аналізу. Використано методи моделювання систем для побудови сценаріїв функціонування гідроелектростанцій за різних умов проектного середовища. Реалізація моделі тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах супроводжувалась розробкою програмного забезпечення на мові Python для створення системи підтримки прийняття управлінських рішень.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці моделей і методів управління ризиками у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури, зокрема гідроелектростанцій, в умовах високої невизначеності та загроз. Запропоновані інструменти ризик-менеджменту поєднують процеси цифрової оцінки ризиків, моніторингу проектного середовища та прийняття управлінських рішень на всіх етапах життєвого циклу інфраструктурних проєктів, що враховують взаємозв'язок між цифровою зрілістю управлінської системи, рівнем ризиків та інтегральною стійкістю об'єктів критичної інфраструктури. Це дозволило отримати такі наукові результати:

вперше розроблено:

– модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах з урахуванням сучасних гібридних загроз і динамічного проектного середовища, яка передбачає використання системного підходу до ідентифікації, оцінки та розроблення реакцій на ризики, що відповідає тактичному управлінню на основі цифрових інструментів підтримки прийняття рішень, чим забезпечується інтеграція цифрових рішень у тактичний рівень управління інфраструктурними проєктами та підвищується стійкість об'єктів до кризових та воєнних впливів;

– метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів, які забезпечують цілісний і гнучкий підхід до підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури за умов невизначеності, поєднання цифрових інструментів із просторовим аналізом ризиків, що дозволяє не лише

локалізувати вразливі зони, але й адаптивно реагувати на загрози в режимі реального часу та є ефективним в динамічному та кризовому проектному середовищі;

удосконалено:

– концептуальну модель цифрового управління змінами у проектах розвитку об'єктів критичної інфраструктури, яка базується на поєднанні цифрових технологій з класичними процесами управління, що забезпечує цілісне охоплення всіх етапів адаптації інфраструктурних проектів до динамічного середовища, і на відміну від існуючих моделей дозволяє вчасно реагувати на зміни проектного середовища, знижувати вплив ризиків і підвищувати ефективність реалізації зазначених проектів;

– модель формування стратегії управління ризиками у проектах розвитку гідроелектростанцій, що передбачає використання цілісної проектно-орієнтованої системи управління, що на відміну від існуючих моделей дає можливість виконати інтеграцію різних управлінських рівнів і взаємодії основних стейкхолдерів, що лежить в основі зменшення ризиків реалізації проектів, підвищення прозорості процесів і забезпечення стійкого розвитку гідроелектростанцій в умовах невизначеності;

набули подальшого розвитку:

– концепція управління ризиками інфраструктурних проектів, термінологічний апарат та база знань щодо цифровізації процесів ризик-менеджменту в умовах невизначеності.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані наукові результати забезпечили розробку:

– алгоритм та систему підтримки прийняття управлінських рішень для тактичного управління ризиками в інфраструктурних проектах, які базуються на запропонованій моделі тактичного управління ризиками та реалізують її у вигляді інтерактивного десктопного додатку, що є ефективним інструментом управління ризиками на етапах планування та реалізації інфраструктурних проектів в умовах невизначеності, що забезпечує автоматизацію відповідного управлінського процесу;

– методику та рекомендації для проектних менеджерів щодо управління ризиками проектів розвитку гідроелектростанцій, які базуються на основі запропонованих моделей і методів, із використанням сучасних цифрових технологій, з урахуванням специфіки динамічного проектного середовища інфраструктурних проектів, що сприяє підвищенню ефективності управління ризиками у проектах розвитку гідроелектростанцій.

Результати виконаного дослідження впроваджено у практичну діяльність Департаменту з питань оборонної роботи, цивільного захисту населення та взаємодії з правоохоронної роботи Тернопільської обласної державної адміністрації (акт впровадження від 03.03.2026 р.) та Головного управління ДСНС України у Львівській області (акт впровадження від 16.03.2026 р.) шляхом використання інструментарію ризик менеджменту в проектах розвитку об'єктів критичної інфраструктури на прикладі гідроелектростанцій та Дністровського басейнового управління водних ресурсів (довідка впровадження від 03.11.2025 р.) шляхом застосування рекомендацій з ризик-менеджменту під час підготовки та оновлення планів експлуатації, модернізації та захисту гідротехнічних споруд Дністровського басейну, використання алгоритмів СППР при щоденному аналізі гідрологічних показників, технічних властивостей споруд та прогнозуванні небезпечних ситуацій. На основі отриманих результатів здобувачем розроблено методичні рекомендації для проведення практичних занять із дисциплін «Управління проектними ризиками» та «Інформаційні системи в менеджменті» у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності (акт впровадження від 07.10.2025 р.).

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, розробки та результати, винесені на захист, стосуються спеціальності «Менеджмент» (Управління проектами та програмами) та одержані здобувачем самостійно. У співавторстві в наукових публікаціях автором використано лише ті ідеї та результати, що є наслідком особистого наукового внеску здобувача. Зокрема у роботах [1] – формалізовано модель цифрового ризик-менеджменту проектів розвитку об'єктів критичної інфраструктури та розроблено концептуальну схему цифрової інтеграції; [2] – розроблено модель формування стратегії проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку об'єктів критичної інфраструктури;

[3] – описано особливості розробки концептуальної моделі цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури; [4] – сформовано методичний підхід до безпеко-орієнтованого управління проєктами захисту об'єктів критичної інфраструктури на основі інтеграції інструментів проєктного менеджменту та ризик-менеджменту; [5] – здійснено аналіз наукових досліджень з управління ризиками в інфраструктурних проєктах, розробку концепції та моделі тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах; [6] – сформовано підхід до інтеграції ризик-менеджменту у етапи життєвого циклу інфраструктурного проєкту; [7] – обґрунтовано особливості процесу аналізу ризиків під час планування проєктів створення об'єктів критичної інфраструктури; [8] – обґрунтовано особливості формування концепції управління проєктними ризиками на об'єктах критичної інфраструктури; [9] – обґрунтовано особливості інтелектуального проєктно-орієнтованого підходу до управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури; [10] – описано життєвий цикл розвитку інфраструктурних об'єктів в умовах невизначеності та ризиків; [11] – обґрунтовано доцільність застосування інтелектуального проєктно-орієнтованого управління ризиками під час реалізації проєктів у динамічному проєктному середовищі; [12] – обґрунтовано особливості захисту об'єктів критичної інфраструктури під час реалізації інфраструктурних проєктів в умовах воєнного стану.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації пройшли апробацію та були позитивно сприйняті на 11 міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях, форумах та семінарах, зокрема на: 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023), (Warsaw, 2023), 5th International Workshop IT Project Management (ITPM 2024), (Bratislava, 2024), XX Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проєктами у розвитку суспільства», (Київ, 2023), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інновінг сучасних трендів в менеджменті безпеки», (Львів, 2023), Міжнародній конференції «Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проєктами та програмами», (Коблево, 2023), Міжнародній конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності», (Львів, 2024),

Міжнародній конференції «Інформаційні системи в управлінні проектами та програмами», (Коблево, 2024), ХХІІ Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проектами у розвитку суспільства», (Київ, 2025), а також на щорічних звітних наукових конференціях здобувачів Львівського державного університету безпеки життєдіяльності у 2021–2025 роках.

Апробація результатів дослідження підтвердила їхню практичну цінність та наукову новизну, а також дозволила сформулювати рекомендації щодо впровадження моделей і методів управління ризиками в інфраструктурних проектах.

Публікації. У межах тематики дисертації опубліковано 12 наукових праць, до яких входять 6 статей, зокрема 4 у закордонних виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах, та 2 у фахових наукових виданнях України. Окрім того, представлено 6 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних і національних конференцій, форумів та семінарів, що висвітлюють окремі результати дисертації. Сукупний обсяг опублікованих матеріалів становить 5,37 друкованих аркушів, з яких 1,845 д.а. є особистим внеском автора.

Структура та обсяг роботи. Дисертація включає вступ, чотири основні розділи, висновки, список використаних джерел і додатки. Загальний обсяг роботи становить 202 сторінки, з яких основний зміст викладено на 146 сторінках. У дисертації представлено 35 рисунків, 22 таблиці, список використаних джерел, що налічує 191 найменування, а також 7 додатків, розміщених на 16 сторінках.

Розділ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ РОЗВИТКУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

1.1. Аналіз впливу інфраструктурного розвитку регіонів України на ефективність управління проєктами критичної інфраструктури

У сучасних умовах трансформаційних викликів, зумовлених війною, економічною нестабільністю та потребою в забезпеченні безпеки, інфраструктурний розвиток територій України набув особливого значення як складова проєктного управління у сфері критичної інфраструктури. Управління проєктами в громадах уже не може здійснюватися без урахування рівня розвитку територій, їхньої соціально-економічної стабільності, а також здатності оперативно реагувати на виклики в енергетичній, соціальній та екологічній сферах.

Рівень інфраструктурного забезпечення різниться між регіонами України. Наприклад, згідно з даними статистичного аналізу, найбільша кількість територіальних громад спостерігається в Одеській (91 ТГ), Дніпропетровській (86 ТГ) і Львівській областях (73 ТГ), у той час як найменше – в Луганській (37 ТГ) та Херсонській областях (49 ТГ). За кількістю сіл лідирує Львівська область (1 850), а за кількістю міст – Донецька область (52) [78]. Це свідчить про значну варіативність навантаження на інфраструктуру в різних типах громад.

Базовим підходом до оцінки потенціалу інфраструктурного розвитку регіонів виступає кластеризація за індексом інфраструктурного розвитку. У дослідженні було застосовано метод тотальних рангів, який дозволив об'єктивно порівняти регіони за сукупністю показників, зокрема: територіальної доступності, чисельності населення, зайнятості та безробіття, забезпеченості освітніми та медичними закладами, а також за економічними показниками. За результатами такого аналізу сформовано три класи інфраструктурного розвитку: розвинений (1 клас), середній (2 клас) та

недостатній (3 клас). Наприклад, до першого класу потрапили Львівська, Одеська, Київська та Дніпропетровська області, що свідчить про високий потенціал реалізації складних інфраструктурних проєктів на їх територіях [78].

Інфраструктурний розвиток безпосередньо впливає на ефективність управління проєктами в громадах (рис. 1.1).

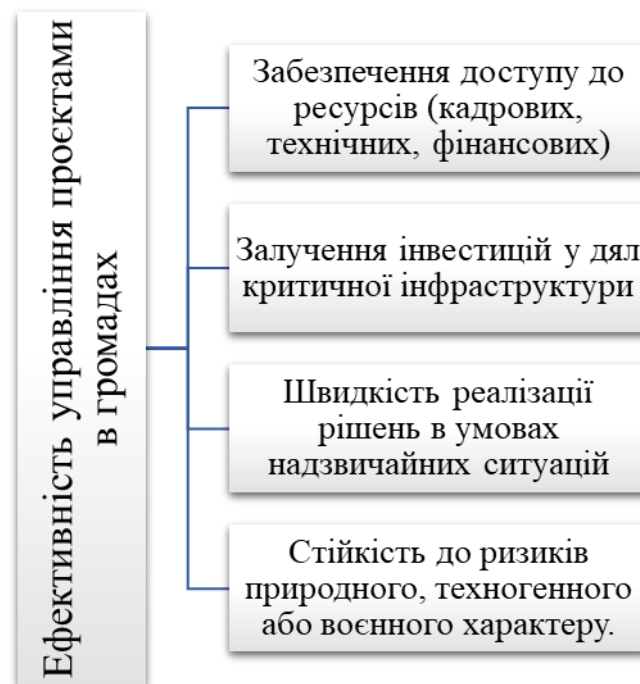


Рисунок 1.1 – Складові впливу інфраструктурного розвитку на ефективність управління проєктами в громадах

Особливої ваги це набуває для об'єктів енергетичної критичної інфраструктури, як-от гідроелектростанції, де ризик-менеджмент має спиратися на територіальні дані, профіль загроз і рівень місцевого розвитку. Визначення належності території до певного кластеру інфраструктурного розвитку дає змогу прогнозувати слабкі місця в проєктному циклі, оптимізувати заходи безпеки та точніше обґрунтовувати необхідність ресурсного забезпечення.

Таким чином, сучасні підходи до управління критичною інфраструктурою повинні обов'язково враховувати аналітичну інформацію про стан регіонів, проводити інфраструктурну паспортизацію та застосовувати просторовий аналіз для планування проєктів, особливо в умовах децентралізації та зростання автономності громад.

Ефективне управління проектами розвитку критичної інфраструктури вимагає чіткого розуміння просторових особливостей регіонів, рівня їх соціально-економічного розвитку та інфраструктурної спроможності. В умовах децентралізації та зростання повноважень територіальних громад ключову роль відіграє системна оцінка рівня інфраструктурного забезпечення, що визначає спроможність до реалізації проектів у сферах енергетики, транспорту, медицини, цивільного захисту тощо.

Інфраструктурний розвиток охоплює не лише наявність матеріальних ресурсів, але й кадрову, організаційну та цифрову спроможність до реалізації стратегічних проектів. Як зазначає Dubnevych et al. [101], у сучасних умовах посилюється значення кластерного аналізу як засобу диференціації регіонів за рівнем готовності до впровадження змін та інновацій у критичних секторах.

Таблиця 1.1 – Основні індикатори інфраструктурного розвитку регіонів України (за адаптованими даними [153])

Регіон	Освіта (індекс)	Медицина (індекс)	Економіка (індекс)	Загальний індекс
Львівська	1.00	0.91	0.91	0.91
Одеська	0.91	0.87	0.86	0.92
Київська	0.70	0.78	0.95	0.74
Луганська	0.00	0.00	0.00	0.03
Тернопільська	0.52	0.39	0.14	0.22

Джерело: адаптовано за [153]

Нормалізований індекс розвитку інфраструктури регіону визначається за формулою:

$$I_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_{i,r} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}, \quad (1.1)$$

де I_r – зведений індекс інфраструктурного розвитку регіону r ; $x_{i,r}$ – значення i -го показника в регіоні r ; n – кількість показників (освіта, медицина, економіка,

зайнятість тощо); $\max(x_i)$, $\min(x_i)$ – відповідно максимальне та мінімальне значення i -го показника серед усіх регіонів.



Рисунок 1.2 – Картографічна візуалізація кластерів регіонального розвитку інфраструктури [45]

Регіональний розвиток інфраструктури оцінюється за класами:

- 1 клас – високий розвиток (0.56–1.00);
- 2 клас – середній розвиток (0.30–0.56);
- 3 клас – низький розвиток (0.00–0.30).

Таким чином, регіони, які мають високі значення зведеного індексу, є більш придатними до реалізації складних інфраструктурних проєктів, включно з модернізацією гідроелектростанцій. Для них характерна вища кадрова мобільність, наявність технічного ресурсу, кращий інвестиційний клімат, що знижує загальний проєктний ризик [112].

Показники розвитку інфраструктури дають змогу ранжувати регіони і формувати портфель пріоритетних проєктів у сфері критичної інфраструктури,

у тому числі за параметрами доступності, готовності до інновацій, екологічної безпеки та фінансової спроможності. Це, у свою чергу, забезпечує цілеспрямований розподіл ресурсів та обґрунтовану оцінку ризиків при реалізації таких проєктів.

1.2. Стан теорії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах цифровізації

У сучасних умовах розвитку інфраструктурних об'єктів, зокрема гідроелектростанцій, визначальним фактором підвищення ефективності управління стає інтеграція проєктно-орієнтованих підходів із інструментами цифровізації. Зважаючи на специфіку критичної інфраструктури, де основними викликами виступають багатфакторність ризиків, тривала експлуатація та необхідність адаптації до змін зовнішнього середовища, проєктно-орієнтоване управління вимагає більш глибокого наукового обґрунтування.

У роботах вітчизняних та зарубіжних дослідників, зокрема М. Портера, С. Бушуєва, Н. Костілевої, О. Зачко, А. Тригуби, І. Чумаченка, І. Кононенка розкрито широке коло проблем проєктно-орієнтованого управління, серед яких особливе місце займають питання адаптації управлінських систем до цифрових трансформацій [121]. Сергій Бушуєв зосередив увагу на розвитку креативного потенціалу керівників проєктів, розробці моделей управління ентропією організацій та емоційною складовою в управлінні проєктами. Такі підходи стають особливо актуальними при управлінні інфраструктурними проєктами, де важлива системна взаємодія команд проєктів і суб'єктів середовища.

Особливої уваги заслуговують напрацювання щодо застосування методів оцінки зрілості портфелів проєктів (І. Кононенко), дослідження людського фактору при управлінні потоками проєктів (І. Чумаченко), а також розробка концептуальних моделей формування проєктних команд з функціональним резервом стійкості [110]. Ці положення можна екстраполювати на системи

управління ризиками гідроелектростанцій, де персонал і командна взаємодія визначають стійкість експлуатаційних процесів в умовах змінного ризикового середовища.

З позицій безпеки та управління ризиками у розвитку територіальних систем актуальними є дослідження А. Тригуби та Р. Ратушного щодо конфігурацій проєктів створення систем пожежогасіння в громадах [177, с. 3]. Запропоновані ними підходи до просторового планування розміщення пожежно-рятувальних підрозділів на територіях можуть бути адаптовані до системного планування розташування енергетичних об'єктів критичної інфраструктури, зокрема, гідроелектростанцій та допоміжних інженерних споруд, де безпечне розташування суттєво впливає на сукупний рівень ризиків.

Особливу роль у сучасному проєктно-орієнтованому управлінні інфраструктурними об'єктами відіграє діджиталізація. Вона розглядається не лише як технологічна основа для автоматизації управлінських процесів, а і як інструмент зниження соціально-економічних ризиків та підвищення адаптивності інфраструктурних систем до зовнішніх загроз [84]. Як показує аналіз, створення проєктних ІТ-офісів у системі управління територіальним розвитком дозволяє централізувати прийняття рішень, впроваджувати інноваційні ІТ-рішення для прогнозування сценаріїв розвитку, моделювання ризиків та забезпечення контролю за виконанням проєктів у реальному часі.

У низці наукових праць [183; 122; 60] акцентується увага на розвитку концепції проєктно-орієнтованого управління як основи інноваційного розвитку національної економіки. У роботі [60] визначено, що проєктно-орієнтоване управління виступає цілісним комплексним підходом до управління інноваційними процесами в умовах турбулентного зовнішнього середовища.



Рисунок 1.3 – Структура методології проєктно-орієнтованого управління [60]

З огляду на еволюцію стандарту РМВОК, де основний акцент переноситься на принципи, обґрунтовано необхідність формування методології управління, що ґрунтується на сукупності знань, принципів, процесів та інструментів. Особлива увага приділяється застосуванню принципу двоконтурного управління, що забезпечує рекомбінацію управлінських механізмів для стадії формування й реалізації проєктів інноваційного розвитку, орієнтуючись на досягнення стратегічних цілей.

Визначальною рисою розвитку критичної інфраструктури в умовах цифровізації є взаємозв'язок фінансових, демографічних та кадрових чинників з рівнем доходів бюджетів розвитку інфраструктурних проєктів. Це чітко підтверджується результатами регресійного аналізу залежності бюджетних

надходжень від чисельності населення та зайнятого працездатного контингенту, проведеного на основі статистичних даних регіонів України [15].

У роботі [47] обґрунтовано, що забезпечення надійності критичної інфраструктури є завданням для підтримки стабільності економіки та безпеки країни.

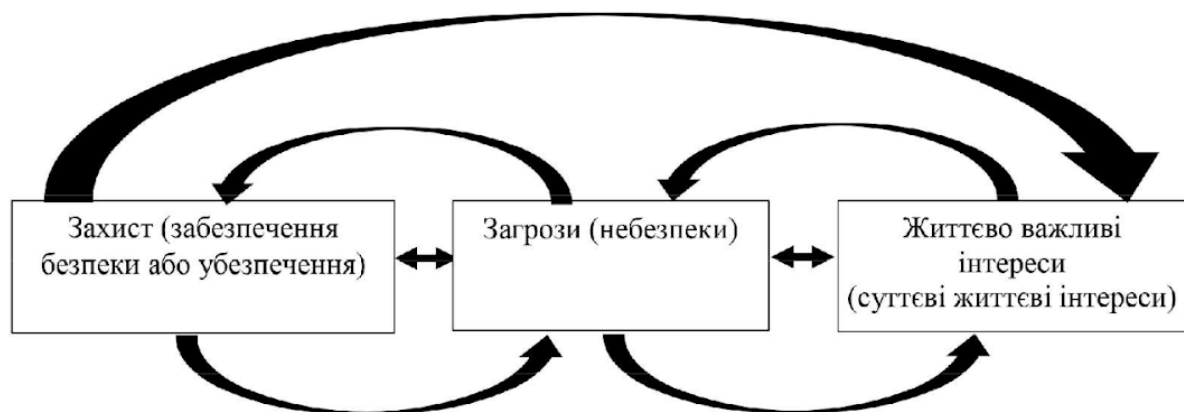


Рисунок 1.4 – Базова елементи національної безпеки [47]

Адаптація до нових викликів і загроз, а також формування ефективних механізмів реагування дозволяє значно знизити ризики та підвищити загальну стійкість держави. Запропоновані напрями посилення безпекових аспектів функціонування об'єктів критичної інфраструктури. Застосування комплексного підходу до управління та захисту критичної інфраструктури дозволить досягти стабільного розвитку суспільства в умовах особливого періоду економіки.

Автори роботи [50] запропонували комплекс заходів з розробки безпекової стратегії розвитку критичної інфраструктури в рамках виконання Плану відновлення України, який включає:

1) удосконалення державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури шляхом визначення та забезпечення впровадження чіткої схеми регулювання безпеки (вимоги – методики перевірки – організаційна схема);

2) розроблення заходів протидії кризовим явищам (організація і проведення онлайн-вебінарів та воркшопів з обміном кращим знанням; впровадження сучасних стандартів (ISO 5500, ISO 31000); підготовка фахівців з

управління інформаційною, економічною, енергетичною, національною безпекою);

3) формування відповідної безпекової екосистеми (створення центрів навчання персоналу сучасним стандартам безпеки і методикам обслуговування об'єктів критичної інфраструктури);

4) посилення та розширення міжнародної співпраці (допомога ключовим операторам критично важливих об'єктів інфраструктури при переході на сучасні методи та стандарти в обслуговуванні виробничих активів шляхом міжнародної технічної, інформаційної, організаційної та фінансової підтримки).

Встановлено, що в сучасних кризових умовах необхідно приділити особливу увагу підготовці кадрів у національній системі захисту критичної інфраструктури в Україні.

У роботі [58] авторами визначено, що цифровізація є однією з ключових сучасних тенденцій суспільного розвитку. Цифрові технології охоплюють побут сучасної людини, сферу її професійної діяльності, дозвілля й соціалізації, стають основним інструментом покращення процедур, механізмів, методів діяльності у сфері публічного управління. Запровадження інформаційно-комунікаційних технологій сприяють оцифруванню інформації, прискорюють її обіг та поширення, що змінює суспільні відносини.

Водночас у роботі [32] сформульовано концепцію цифровізації менеджменту персоналу та визначено його принципи. Доведено переваги цифровізації для ефективного управління людськими ресурсами. Результати можна використовувати для подальшого розвитку теорії менеджменту персоналу в умовах цифрової трансформації.

Автори роботи [25] розроблено концептуальну модель управління проектами БЕ СВС, кінцевим результатом якої є збережене життя та здоров'я цікавих сторінок проєктів. проєктів БЕ СВС із секторів на променаді найбільш оптимальним є використання аналітичної моделі, що враховує топологію руху людського потоку, а в безпечну зону – моделі індивідуально потокового руху людини в складі потоку, яка показана у вигляді модифікованої функції Ерланга.



Рисунок 1.5 – Напрями використання цифрових HR-технологій у менеджменті [47]

Основою для реалізації вище згаданих підходів є механізми державної політики, що приводять у рух зазначені безпекові системи [35]. Обґрунтовано, що цифровізація та її технологія є результатом соціального розвитку, як і права, держави тощо.

Узагальнений аналіз сучасних наукових праць дозволяє стверджувати, що в умовах цифрової трансформації відбувається суттєве оновлення теоретичних основ проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку об'єктів критичної інфраструктури. У працях [25; 35] обґрунтовано значення системного підходу до забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури, де кінцевим результатом управління проектами виступає збереження життя та здоров'я зацікавлених сторін. При цьому запропоновані аналітичні моделі, що враховують топологію руху людських потоків та особливості їх евакуації, демонструють можливість застосування математичних залежностей, зокрема модифікованих функцій Ерланга, для опису поведінки людських потоків у кризових ситуаціях. Це створює підґрунтя для інтеграції точних моделей поведінки в систему управління проектними ризиками розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Цифровізація бізнес-процесів створила нові умови, такі як обробка великих обсягів даних, кібербезпеки, блокчейн, штучний інтелект, автоматизація тощо [24]. Це підкреслює важливість і потребує теоретичного та практичного аналізу проблем управління проектами безпеки підприємств і врахування нових проблем і можливостей, що відображаються в контексті цифрової трансформації.

Поряд із цим, цифровізація розглядається як фундаментальна складова сучасного розвитку управлінських систем безпеки, що визначено у роботах [42; 46]. Впровадження цифрових технологій забезпечує можливість обробки великих обсягів даних, використання штучного інтелекту, автоматизованого аналізу даних, блокчейн-технологій, що виводить управління ризиками на новий якісний рівень оперативності, точності прогнозування та своєчасного прийняття рішень. Цифрові системи забезпечують динамічний моніторинг стану інфраструктурних об'єктів та дозволяють адаптувати стратегії управління відповідно до змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі. Водночас, роботи [43] вказують на важливість цифровізації й у сфері управління персоналом, що є критично важливим для підтримання функціональної спроможності систем безпеки в умовах надзвичайних ситуацій.

Автори роботи [154] представили комплексну еволюцію сучасних цифрових технологій, які формують базис розвитку управлінських практик у проєктах критичної інфраструктури в умовах глобальної цифрової трансформації. Графічна структура рисунка 1.6 побудована у вигляді трисегментної моделі, що демонструє взаємозв'язок між минулими тенденціями (Past trends), сучасними бізнес-моделями (New business models) та майбутньою цифровізацією (Future digitalization).

Ліва частина відображає ключові технологічні досягнення попереднього етапу цифрової революції – розвиток Інтернету, персональних комп'ютерів, смартфонів, соціальних мереж, а також поява базових елементів штучного інтелекту, блокчейн-технологій та 3D-друку. Саме ці напрями заклали основу для формування цифрового середовища, яке наразі трансформується у складнішу інтелектуальну систему управління проєктами.

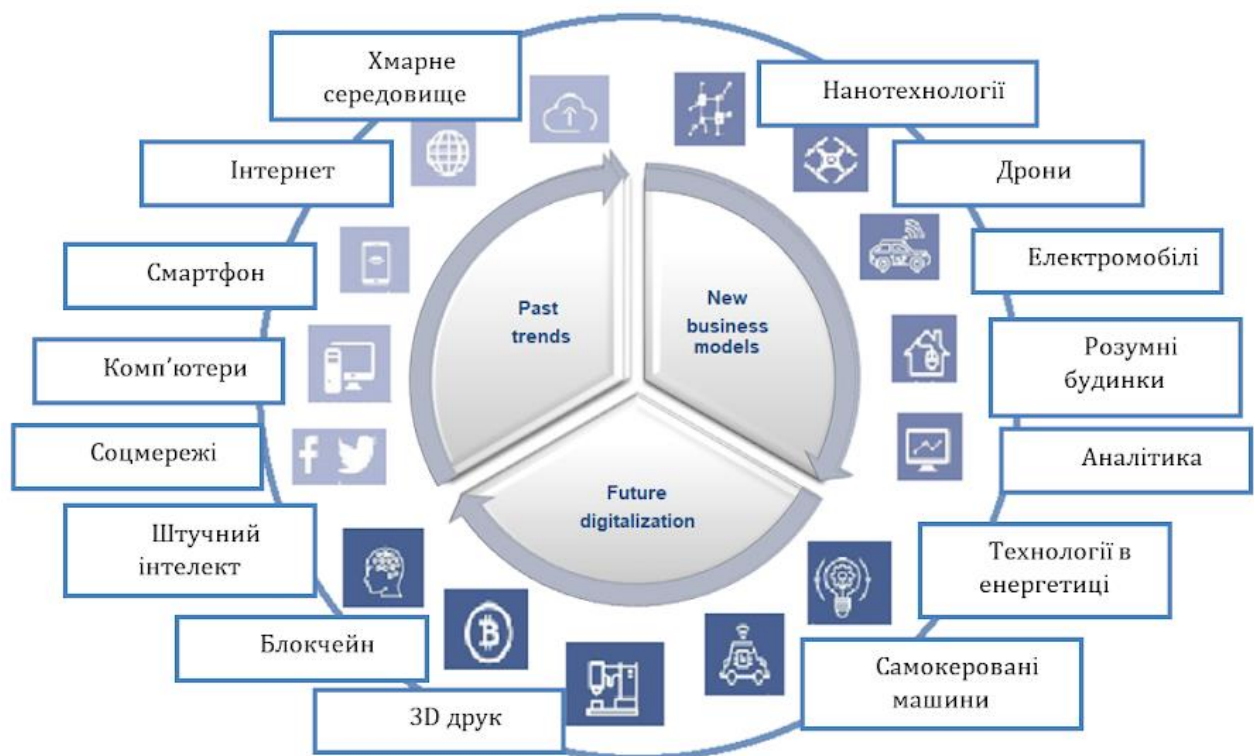


Рисунок 1.6 – Сучасні напрями розвитку світових цифрових трендів [154]

Правий сегмент демонструє актуальні та майбутні напрями розвитку, які визначатимуть вектор цифровізації управління проєктами розвитку критичної

інфраструктури. Зокрема, активне впровадження нанотехнологій, дронів, електромобілів, розумних будинків, передових систем аналітики, енергетичних цифрових платформ і самокерованого транспорту створюють нові виклики для ризик-менеджменту інфраструктурних проєктів.

Автори цієї роботи зазначають про роль нових бізнес-моделей, що ґрунтуються на синергії минулих і майбутніх цифрових досягнень. У системі проєктного управління це вимагає створення гнучких адаптивних моделей оцінки ризиків, здатних інтегрувати змінність середовища у реальному часі. Зокрема, поява таких інновацій як предиктивна аналітика, когнітивні обчислення, розподілені архітектури управління змінами (edge computing) та платформи реального часу (real-time platforms) значно підвищує складність ризик-менеджменту проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Узагальнюючи зазначене, варто сказати, що відомі наукові дослідження створили вагоме підґрунтя для розвитку теорії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах цифровізації. Проте існуючі підходи ще не забезпечують повноцінного інтегрованого інструментарію, здатного комплексно охопити специфіку функціонування окремих видів об'єктів критичної інфраструктури, зокрема гідроелектростанцій.

Динамічний характер гідротехнічних систем, їхній взаємозв'язок із природними чинниками, складна структура технічних елементів та високі соціально-економічні наслідки аварійних ситуацій потребують формування спеціалізованих моделей і методів ризик-менеджменту, що враховують як технічні параметри систем, так і специфіку впливу цифрових технологій на всі стадії життєвого циклу проєктів розвитку гідроелектростанцій. Саме розробка таких моделей і методів дозволить забезпечити більш високий рівень надійності, адаптивності й стійкості критичних енергетичних об'єктів у сучасних умовах глобальної цифрової трансформації.

1.3. Аналіз методологічних підходів та результатів досліджень з управління ризиками в інфраструктурних проєктах

Для системного аналізу предметної області дослідження здійснено методологічний огляд наукових розробок в напрямку методології управління проєктами [78, 81, 103, 105, 128, 159,164], наукових підходів до управління ризиками в проєктах та програмах різного напрямку [125, 157, 1, 14, 26, 31, 78] та безпосередньо ризик менеджменту інфраструктурних проєктів [80, 83, 100, 107, 108, 149]. Теоретична основа управління ризиками описується в частині стандарту РМВОК класичної редакції [78], де розглядаються процеси планування ризиками і безпосередньо процес управління ними. Однак, варто також взяти до уваги нову редакцію цього стандарту [164], в якій окреслені підходи адаптації системи управління проєктом та його ризиками, до вимог проєктних організацій. До методологічних напрацювань з управління проєктами, які впорядковують процеси, методи і моделі управління на основі РМВОК, можна віднести стандарт ISO 21500:2012 [105]. Важливим елементом методології управління проєктами та програмами є стандарт ISB4 [103], в якому описано моделі компетенцій фахівців в різних кластерах управління проєктами, використання якого дасть змогу забезпечити функціонування блоків моделі тактичного управління ризиками в контексті функціонування проєктного офісу, взаємодії проєктних команд зацікавлених сторін, а також процеси оновлення проєктних планів, що враховують плани реагування на ризики, процеси перманентної оцінки ймовірності досягнення цілей та ідентифікація нових ризиків. В стандарті PRINCE2 [128] розглядаються процеси комунікації при управлінні ризиками, які здійснюються паралельно із іншими процесами, а інструментарій Agile формує основу до процесу коригування проєктів та особливостей застосування підходів управління ризиками [81, 159]. Усі ці методології та інструментарії можуть бути паралельно застосовані в процесі управління проєктними ризиками інфраструктурних проєктів, однак вони мають суттєві відмінності і не завжди можуть бути адаптовані у повній мірі до вимог проєктів такого типу.

В працях вітчизняних та закордонних вчених достатньо комплексно описані наукові підходи до управління ризиками в проєктах та програмах різного напрямку. Зокрема, розглянуто управління ризиками залежностей від ризиків проєкту [125]. Досліджено реакцію на ризик складних проєктів, запропонувавши метод мережі асоціацій ризиків [185] та сформувавши концептуальну модель балансу ризиків [1]. Розроблена модель інтегрованого управління ризиками проєктів [14] та описано процес аналізу та управління ризиками інноваційного проєкту, застосування експертного оцінювання ризиків [26, 31, 78].

Багато досліджень присвячено саме управлінню ризиками в інфраструктурних проєктах, в яких розглянуті питання управління ризиками в сфері транспортної інфраструктури [80]; будівництва [83, 100]; об'єктів спортивної інфраструктури [107]; фінансування та впливу нових парадигм, зокрема гібридних підходів на функціонування інфраструктурних проєктів [108, 149, 4, 18].

Незважаючи на достатню кількість досліджень в сфері управління ризиками в інфраструктурних проєктах, не вирішеним залишаються процесуальні підходи до формування парадигми тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів, що забезпечить оперативність застосування управлінського інструментарію, швидку адаптацію антикризових оперативних рішень та змісту моношаблонів інфраструктурних проєктів в регіональному вимірі, а також стан безпечного та стабільного функціонування проєктів цього типу.

Сучасна теорія управління ризиками інфраструктурних проєктів активно розвивається як у прикладному, так і в теоретичному аспектах. Особлива увага в наукових дослідженнях приділяється складності оцінювання багатofакторних ризиків у системах з високим рівнем невизначеності, характерним для великих інфраструктурних проєктів. Основу сучасних підходів становлять міжнародні стандарти управління проєктами, зокрема PMBOK Guide (6th і 7th editions) [78, 164], ISO 21500:2012 [105], ICB4 [103], PRINCE2 [128], а також адаптивні гнучкі методики Agile [81, 98, 159].

У науковій літературі представлено широкий спектр моделей і методів кількісної оцінки ризиків у складних проєктах. Так, у роботах Т. W. Kwan та Н. К. Leung [125] розглянуто методологію аналізу залежних ризиків на основі побудови ризикових залежностей у мережевих структурах, де ризик R_i кожної події визначається як залежний від суміжних подій за формулою:

$$R_i = P_i \cdot C_i + \sum_{j=1}^n (\rho_{ij} \cdot P_j \cdot C_j), \quad (1.1)$$

де ρ_{ij} – коефіцієнт залежності ризиків між подіями i та j .

Такий підхід дозволяє враховувати кумулятивний ефект взаємопов'язаних ризиків, що є характерним для інфраструктурних систем.

Досить оригінальний підхід запропоновано L. Yang з колегами [185], які описують так звані мережі асоціацій ризиків (Risk Association Networks), де на основі побудови графів зв'язків між групами ризиків формуються кластери з підвищеною інтегральною загрозою для проєкту. Автори доводять, що врахування ризикових кластерів дозволяє формувати ефективніші стратегії управління, оскільки низка локальних ризиків у взаємозв'язку створює додатковий інтегрований ефект.

Вагоме місце у сучасній літературі посідають дослідження з аналізу ризиків в інфраструктурних галузях. Наприклад, у роботі В. Abeyssekara [80] показано застосування нечітких множин для оцінювання ризиків транспортних інфраструктурних проєктів. Автор обґрунтовує застосування методу нечіткої логіки для врахування експертної невизначеності в умовах відсутності повних статистичних даних. Узагальнена функція нечіткої оцінки ризику подана у вигляді:

$$R_f = \int \mu(P) \cdot \mu(C) d\mu, \quad (1.2)$$

де $\mu(P)$ і $\mu(C)$ – відповідно функції приналежності для ймовірності виникнення ризику та масштабів наслідків.

Таблиця 1.2 – Основні підходи до управління ризиками інфраструктурних проектів

Підхід	Автори	Основна ідея	Особливість
Аналіз залежних ризиків	Kwan, Leung [125]	Врахування взаємозалежностей ризиків	Побудова мереж ризикових залежностей
Мережі асоціацій ризиків	Yang et al. [185]	Кластеризація ризиків у мережевих графах	Інтегральна оцінка взаємопов'язаних загроз
Нечітке оцінювання ризиків	Abeyssekara [80]	Використання нечіткої логіки для експертних оцінок	Зниження невизначеності при обмеженій інформації
Баланс ризиків стейкхолдерів	Бакуліч, Севост'янова [1]	Оцінка балансу ризиків і можливостей різних груп зацікавлених сторін	Забезпечення консенсусу в управлінні проектами
Зміна управлінських парадигм	Бушуєв та ін. [4]	Гібридизація управління ризиками	Врахування комплексного середовища ризиків
Гібридні технології управління	Зачко, Кобилкін [18]	Поєднання класичних і гнучких методів управління в інфраструктурних програмах	Формування гібридних моделей управління ризиками в складних умовах середовища

Питання впливу ризик-менеджменту на стратегічне функціонування інфраструктурних систем аналізуються у публікаціях Jovanović та Mosurović

[108], де акцент зроблено на взаємозв'язок ризиків із процесами прийняття фінансових рішень при реалізації інфраструктурних проєктів.

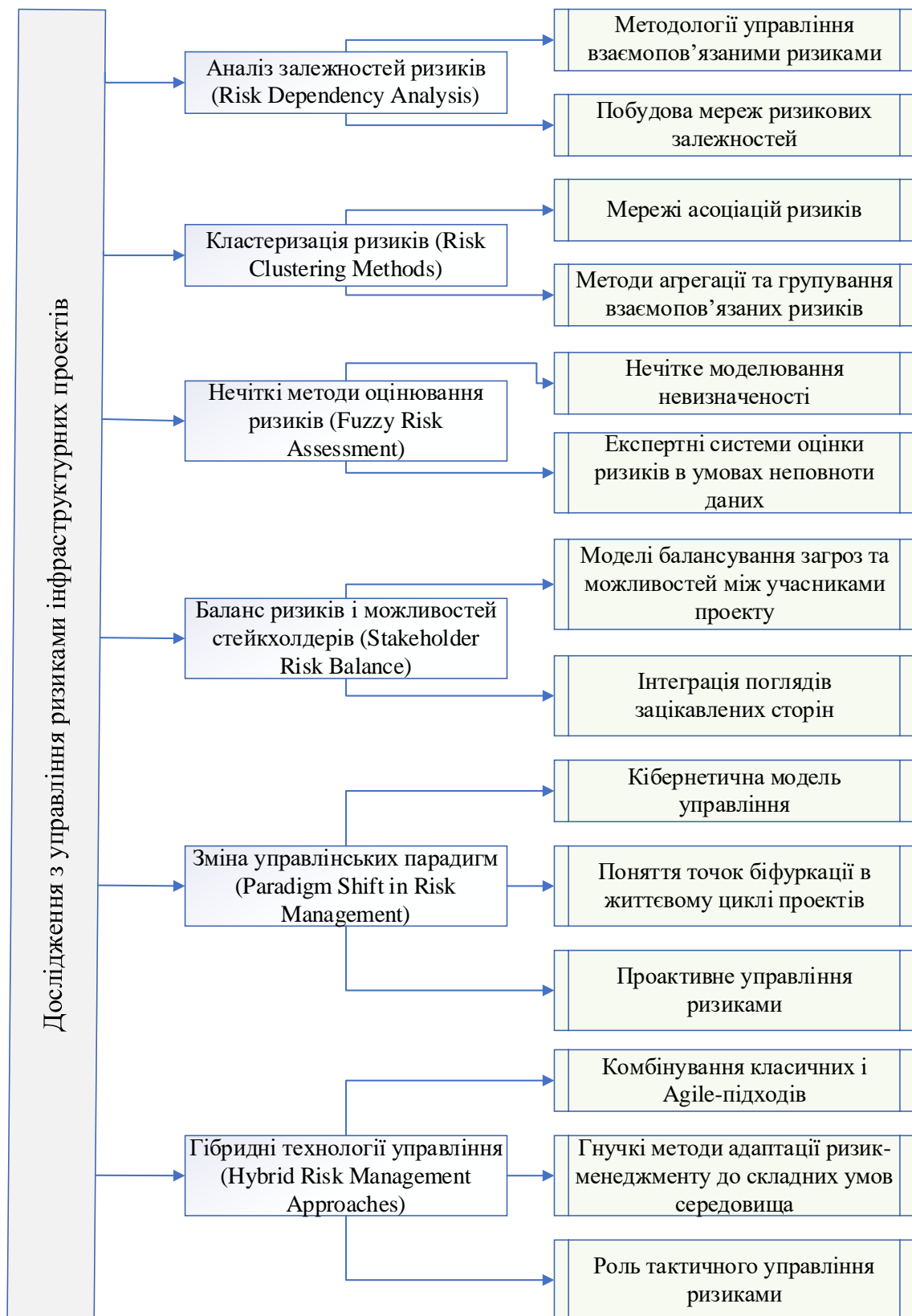


Рисунок 1.7 – Схема основних напрямів сучасних досліджень з управління ризиками інфраструктурних проєктів (сформовано автором)

Вони показують, що без системної інтеграції ризик-менеджменту у фінансові моделі проєктів відбувається значне зростання ймовірності зриву термінів та перевищення бюджетів.

Вітчизняна наукова школа також зробила значний внесок у розвиток методичних підходів. Зокрема, О.О. Бакуліч та А.В. Севост'янова [1] запропонували концептуальну модель балансу ризиків і можливостей для стейкхолдерів інфраструктурних проєктів.

У роботі С. Д. Бушуєва та його співавторів [4] розглянуто зміну управлінських парадигм в інфраструктурних проєктах і програмах шляхом застосування проактивних моделей, які враховують вплив точок біфуркації на хід розвитку проєкту. Запропоновано кібернетичну концепцію управління, що ґрунтується на формуванні управляючих дій залежно від поточного та прогнозованого стану проєкту з урахуванням динаміки ризиків, можливостей та зовнішніх викликів гібридного характеру.

Узагальнюючи результати існуючих наукових досліджень, нами представлено систематизовану таблицю основних підходів до управління ризиками інфраструктурних проєктів (табл. 1.2).

На основі проведеного аналізу сформовано концептуальну узагальнюючу схему, яка відображає ключові блоки сучасних наукових досліджень у галузі ризик-менеджменту інфраструктурних проєктів (рис. 1.7).

На основі виконаного аналізу літературних джерел, слід зазначити, що сучасні наукові підходи до управління ризиками в інфраструктурних проєктах характеризуються значною багатоманітністю моделей, орієнтованих на врахування складних залежностей між ризиками, невизначеності у даних, багаторівневої взаємодії учасників проєктів та адаптивності до динамічного проєктного середовища. Разом з тим, недостатньо розробленими залишаються питання оперативної тактичної адаптації ризик-менеджменту до специфіки післявоєнного відновлення, гібридних загроз та цифрової трансформації систем критичної інфраструктури, що і зумовлює актуальність подальшого дослідження.

1.4. Виділення невирішеної наукової задачі та формування концепції наукового дослідження

Виконаний аналіз стану теорії і практики управління ризиками в інфраструктурних проєктах, особливо у сфері розвитку об'єктів критичної інфраструктури, свідчить про наявність низки невирішених наукових задач. Незважаючи на значну кількість існуючих методичних підходів, більшість із них орієнтовані або на суто стратегічний рівень управління, або на фрагментарні рішення, що не враховують комплексної динаміки змін проєктного середовища, зокрема впливу гібридних загроз, швидкої трансформації факторів ризику в умовах воєнного стану та невизначеності.

Відсутність інструментарію тактичного рівня управління ризиками, який би дозволяв оперативно реагувати на зміни проєктного середовища та адаптувати управлінські стратегії на ці зміни, формує актуальну науково-прикладну задачу, яка стосується підвищення ефективності управління ризиками у проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів завдяки розробленню моделей і методів тактичного ризик-менеджменту. Цей інструментарій повинен базуватися на процесах цифрового управління змінами проєктного середовища та формування стратегій забезпечення стійкості об'єктів в умовах невизначеності.

При цьому складністю управління ризиками у проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів є недостатня системна інтеграція цифрових технологій у механізми управління змінами зазначених проєктів. Сучасні цифрові системи управління проєктами не забезпечують повноцінної аналітичної підтримки управлінських рішень за умов багаторівневої невизначеності, що властива для проєктів розвитку об'єктів гідроенергетики, енергетичних комплексів, транспорту, водозабезпечення та інших стратегічно важливих систем життєзабезпечення.

З огляду на виявлені наукові прогалини, у межах даного дослідження сформульовано загальну невирішену наукову задачу, яка полягає у розробці концептуальних моделей та інтелектуальних методів проєктно-орієнтованого

тактичного управління ризиками розвитку інфраструктурних об'єктів в умовах динамічного проєктного середовища та невизначеності, а також гібридних загроз із використанням цифрових технологій підтримки прийняття управлінських рішень.

Таблиця 1.3 – Система моделей і методів тактичного ризик-менеджменту, які запропоновані у дисертації

№	Назва розроблених моделей та методу	Основна наукова новизна та функціональне призначення
1	Модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах	Забезпечення оперативної адаптації управлінських рішень до змін проєктного середовища з урахуванням гібридних загроз
2	Концептуальна модель цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури	Інтеграція цифрових технологій у процеси управління змінами, моніторингу ризиків та прогнозування наслідків
3	Модель формування стратегії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій	Формалізація стратегії управління ризиками на основі сценарного аналізу для об'єктів гідроенергетики
4	Метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів	Забезпечує поєднання індексного підходу до оцінки цифрової зрілості території та математичної моделі впливу цифровізації на ризик-фактори стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності.

Для розв'язання науково-прикладної задачі, яка стосується підвищення ефективності управління ризиками у проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів,

нами розроблено три взаємопов'язані моделі і один метод тактичного ризик-менеджменту, які забезпечують підтримку прийняття управлінських рішень щодо окремих управлінських процесів (табл. 1.3). Запропонована концепція наукового дослідження формує ієрархічну архітектуру, у якій тактичне управління ризиками виступає базовим модулем, а цифрові механізми моніторингу і управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури, забезпечують його інтеграцію в системи підтримки управлінських рішень. Концептуальна схема дослідження представлена на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Загальна концепція наукового дослідження щодо підвищення ефективності управління ризиками у проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів завдяки розробленню моделей і методів тактичного ризик-менеджменту (на прикладі гідроелектростанцій)

Таким чином, сформована концепція наукового дослідження дозволяє забезпечити науково обґрунтовану інтеграцію тактичного ризик-менеджменту, цифрового моніторингу змін і адаптаційного управління проєктами критичної інфраструктури в умовах гібридних загроз. Запропонований для розроблення інструментарій формує основу для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських рішень, що забезпечить підвищення ефективності управління ризиками у проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів.

Висновки до розділу 1

1. У результаті проведеного аналізу встановлено, що рівень інфраструктурного розвитку регіонів України безпосередньо визначає можливості успішної реалізації проєктів критичної інфраструктури, а інтеграція просторового аналізу, паспортизації та оцінки регіональних показників дозволяє суттєво підвищити якість управлінських рішень, мінімізуючи ризики та забезпечуючи ефективне планування складних інфраструктурних проєктів у децентралізованих умовах.

2. На основі аналізу наукових праць встановлено, що попри значний науковий доробок у сфері проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку об'єктів критичної інфраструктури, існує потреба у створенні спеціалізованих інтегрованих моделей, які б повною мірою враховували технічну складність гідроелектростанцій, динаміку проєктного середовища та можливості сучасних цифрових технологій для забезпечення ефективного управління ризиками на всіх етапах життєвого циклу таких проєктів.

3. Встановлено, що сучасні методологічні підходи до управління ризиками в інфраструктурних проєктах заклали міцну теоретичну базу з урахуванням складності багатофакторних залежностей та невизначеності проєктного середовища, однак досі потребують розвитку механізмів тактичної адаптації ризик-менеджменту до викликів післявоєнного відновлення,

гібридних загроз і цифровізації критичної інфраструктури, що обґрунтовує доцільність подальших наукових досліджень у цій сфері.

4. Попри наявність інструментарію для управління ризиками у інфраструктурних проєктах існує потреба у розробленні моделей і методів тактичного ризик-менеджменту, які мають базуватися на цифровому моніторингу змін проєктного середовища, що забезпечить адаптивно управляти ризиками в проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів, зокрема гідроелектростанцій, забезпечуючи стійкість їх функціонування в умовах високої невизначеності та гібридних загроз.

Розділ 2

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ КРИТИЧНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ

2.1. Життєвий цикл розвитку інфраструктурних об'єктів в умовах невизначеності та ризиків

Розвиток об'єктів інфраструктури належить до категорії складних проектних систем, що функціонують у динамічному проектному середовищі багатовимірної невизначеності. Зазначені проекти потребують залучення значних фінансових, організаційних, технічних і кадрових ресурсів протягом усього життєвого циклу. До переліку інфраструктурних об'єктів, поряд із традиційними транспортними системами та дорожнім будівництвом, відносяться й об'єкти критичної інфраструктури – енергетичні комплекси (електростанції та інші), телекомунікаційні вузли, системи водозабезпечення, охорони здоров'я та продовольства.

Особливої актуальності набуває проблема управління такими проектами в умовах воєнного стану, коли зростає не лише ймовірність фінансових і матеріальних втрат, а й виникає безпосередня загроза функціональній стабільності державних систем життєзабезпечення, безпеці населення та територій. Це вимагає інтеграції підходів ризик-менеджменту вже на етапі формування життєвого циклу інфраструктурного проекту.

Класичні підходи (PMBOK, ISO 21500, ІСВ 4.0) виокремлюють чотири основні фази проектного циклу – ініціація, планування, реалізація та експлуатація [79, 103, 104, 105, 134, 135, 138, 141]. Проведене дослідження дозволило адаптувати цю структуру з урахуванням ризикогенних факторів та сформуванню специфічні фази життєвого циклу інфраструктурних проектів:

$$F = \{F_1, F_2, F_3, F_4\}, \quad (2.1)$$

де F_1 – фаза ініціації; F_2 – фаза планування і проектування; F_3 – фаза практичної реалізації і будівництва; F_4 – фаза експлуатації та підтримки функціонування.

На кожній із зазначених фаз діє власна специфіка управління ризиками, яка може бути формалізована через динамічне рівняння переходу ризиків у проєктне середовище:

$$R_{i+1} = R_i \cdot (1 - I_p) + \Delta R, \quad (2.2)$$

де R_i – рівень ризику на поточній фазі; I_p – рівень імунної протидії ризикам у системі управління проєктом; ΔR – приріст нових ризиків внаслідок зовнішнього впливу та невизначеностей проєктного середовища.

Ризики на етапі ініціації мають максимальну невизначеність. Базова стратегія протидії R_p ще не здатна повною мірою нівелювати їхній вплив, що дозволяє частині загроз проникнути у ядро проєкту P . Лише на фазі планування формується початковий рівень адаптивного опору R_c , який поступово трансформується в імунну модель протидії I_p ризикам.

На фазі реалізації активуються основні механізми забезпечення стійкості проєкту – локалізація існуючих загроз, запобігання новим та стабілізація структури проєктної системи:

$$S_p = f(R_c, I_p, \gamma), \quad (2.3)$$

де S_p – стійкість проєкту до ризиків на невизначеностей; γ – коефіцієнт критичності зовнішнього оточення.

Коефіцієнт критичності зовнішнього оточення γ – це інтегральний параметр оцінки ступеня потенційної дестабілізації інфраструктурного проєкту внаслідок дії зовнішніх факторів проєктного середовища, що зумовлюють ризик. Він відображає комплексну взаємодію політичних, економічних,

соціальних, технологічних, екологічних, військових та інформаційних впливів на інфраструктурний проєкт. Значення коефіцієнта γ формується на основі багатофакторного аналізу, де враховуються:

$$\gamma = f(PESTLE, M_i, C_y, C_l, M_a), \quad (2.4)$$

де *PESTLE* – політичні, економічні, соціальні, технологічні, правові та екологічні фактори проєктного середовища; M_i – вплив воєнних загроз; C_y – кіберризика; C_l – природно-кліматичні загрози; M_a – коливання фінансових і ринкових умов.

Чим вищим є значення, тим сильніша нестійкість зовнішнього середовища та вища ймовірність трансформації неідентифікованих загроз у критичні ризики.

На фазі експлуатації формується стабільна система моніторингу та періодичного оновлення стратегій протидії, що дозволяє забезпечувати сталу працездатність об'єкта навіть в умовах небажаної зміни проєктного середовища.

Подана таблиця 2.1 відображає формування ризиків та механізми протидії ним протягом усього життєвого циклу інфраструктурного проєкту. На фазі ініціації проєкту спостерігається максимально високий рівень невизначеності. На цьому етапі проєктні менеджери мають лише попередні припущення щодо потенційних ризиків, їх характеру, джерел та масштабів впливу. Аналітичні інструменти ще недостатньо розвинуті, тому ключовою задачею є первинна ідентифікація загроз і загальне формування карти ризиків.

У фазі планування та проєктування ризиковий стан починає частково структуруватися. Команда проєкту отримує додаткову інформацію, що дозволяє формувати сценарні моделі розвитку подій, оцінювати ймовірності настання ризиків та планувати заходи реагування. Саме на цьому етапі закладається базова архітектура системи опору ризикам.

Таблиця 2.1. – Складові системи протидії ризикам у життєвому циклі інфраструктурного проекту

Фаза	Основна характеристика ризикового стану	Стратегічний механізм протидії ризикам
Ініціація F_1	Максимальна невизначеність, слабка аналітика	Початкова ідентифікація загроз
Планування і проєктування F_2	Часткова оцінка, формування плану реагування	Розробка сценарних моделей, формування системи опору
Реалізація і будівництво F_3	Активізація загроз при виконанні робіт	Тактична адаптація, когнітивні моделі управління
Експлуатації та підтримки функціонування F_4	Залишкові ризики, стабільна система моніторингу	Постійний аудит ризиків, підтримка стійкості

Фаза реалізації та будівництва відзначається активізацією загроз. На цій стадії ризики з потенційних переходять у реальні – відбуваються технічні збої, затримки, можуть реалізуватись адміністративні або політичні обмеження. Для протидії цим загрозам застосовуються тактичні адаптаційні підходи, а саме – когнітивне моделювання, оперативні сценарні коригування та антикризові управлінські рішення.

У фазі експлуатації і підтримки функціонування інфраструктурного об'єкта система управління ризиками трансформується в стабільний режим моніторингу залишкових загроз. Регулярно проводиться аудит ризиків, перевіряється працездатність системи безпеки, оновлюються протоколи реагування на нові виклики. На цьому етапі забезпечується довгострокова стійкість функціонування об'єкта навіть в умовах зміни зовнішнього середовища.

Таким чином, кожна фаза життєвого циклу проекту формує свою унікальну конфігурацію ризиків, що вимагає гнучкого поєднання стратегічних та тактичних управлінських рішень для забезпечення стійкості інфраструктурних систем.

Нами розроблена схема життєвого циклу інфраструктурного проекту в умовах невизначеності та ризиків, яка представлена на рис. 2.1. Подана схема відображає концептуальну модель життєвого циклу інфраструктурного проекту в умовах невизначеності та ризиків. На кожній фазі відображено процес появи та розвитку ризиків (R_i), які чинять деструктивний вплив на дії у проекті (позначено як стрілки R_1, R_2, R_3, R_4 з відповідними векторами впливу). Починаючи з фази F_1 , базова стратегія протидії ризикам R_p ще не є достатньо дієвою для повноцінної нейтралізації загроз через високий рівень невизначеності стартового періоду. Ризики R_i на початковій стадії здебільшого ідентифікуються, але залишаються значною загрозою для реалізації проекту.

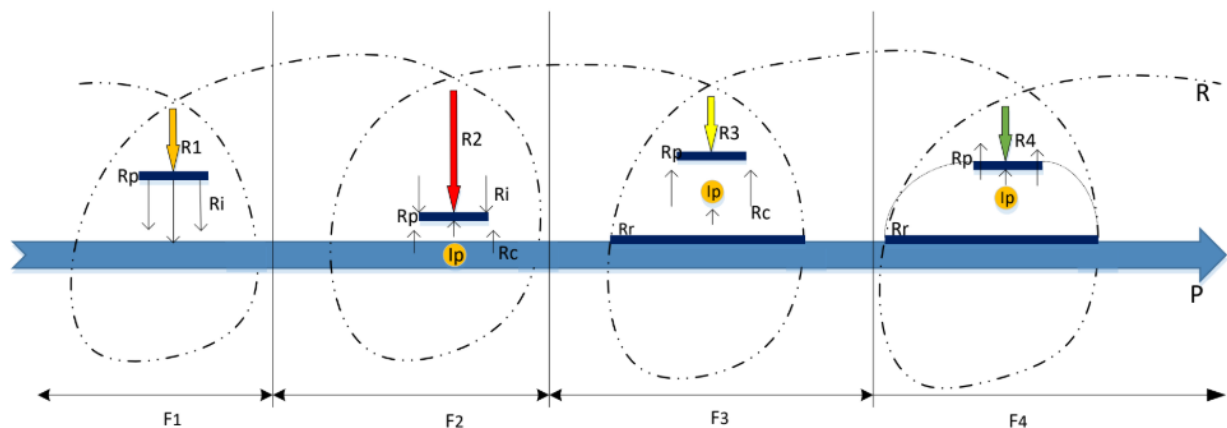


Рисунок 2.1 – Схема життєвого циклу інфраструктурного проекту в умовах невизначеності та ризиків

Перехід до фази F_2 супроводжується зростанням ризикового впливу (R_3), що обумовлено розширенням інформаційного поля проекту, залученням нових зацікавлених сторін та деталізацією планових заходів. Саме тут активізується система спротиву R_c та формується імунна підсистема проекту I_p , що поступово нарощує свою стійкість.

На фазі F_3 видно подальшу активізацію внутрішньої системи протидії ризикам. Система I_p діє більш ефективно, нейтралізуючи частину зовнішніх загроз, водночас уже напрацьовані стратегії тактичного реагування дозволяють гнучко адаптувати управлінські рішення до наявних викликів. Зовнішній тиск ризиків (R_3) поступово зменшується внаслідок стабілізації проєктного середовища.

Фаза F_4 демонструє завершальний етап, коли сформована система протидії ризикам I_p забезпечує підтримку стійкості об'єкта в умовах залишкових ризиків (R_4). Протягом експлуатації об'єкта зберігається стабільна система моніторингу з метою запобігання виникненню нових ризиків і підтримки безпеки проєктного продукту в довгостроковій перспективі.

Додатково на схемі (рис. 2.1) чітко простежується залежність ефективності протидії ризикам від накопичення системних знань на кожному етапі життєвого циклу, що відображає адаптивно-еволюційний характер безпекового управління ризиками інфраструктурних проєктів.

Таким чином, запропонований підхід формалізує зв'язок між розвитком інфраструктурного проєкту та еволюцією ризиків у динамічному проєктному середовищі. Такий підхід забезпечує створення адаптивної системи управління ризиками, що дозволяє гнучко реагувати на небажані події, своєчасно оновлювати стратегії протидії їх появи та підтримувати стабільність об'єкта критичної інфраструктури в умовах зростання зовнішніх загрозливих факторів.

2.2. Інтеграція ризик-менеджменту у етапи життєвого циклу інфраструктурного проєкту

Розвиток нашої держави безпосередньо пов'язаний з фінансуванням інфраструктурних проєктів спрямованих на модернізацію та відновлення враховуючи сучасні українські реалії [59]. Для цього існує потреба у вдосконаленні процесу управління інфраструктурними проєктами.

Управління безпекою в проєкті – система дій, спрямованих на встановлення, забезпечення і підтримку необхідного рівня безпеки проєкту в процесі його розробки, обґрунтування, реалізації, завершення проєкту та стадії експлуатації продукту проєкту, що включає всі роботи, які належать до загальної функції управління, визначають політику безпеки, завдання та відповідальність і реалізують їх такими засобами, як планування безпеки, контроль та вдосконалення в межах системи забезпечення безпеки [23, с. 53].

Розвиток інфраструктурних проєктів має важливе значення для економічного зростання та соціального добробуту країни. В Україні спостерігається значний розвиток науки, техніки, інформаційних технологій та методів управління. Цифрова трансформація веде до суттєвих змін у політичних і економічних процесах, суспільних взаємодіях і перспективах майбутнього. Цифрові технології стимулюють громадянську активність і впливають на міжнародний імідж держави та реалізацію інфраструктурних проєктів.

Інфраструктура є досить важливою для підтримки економіки, оскільки створює необхідні умови для ведення бізнесу, впливає на якість життя громадян, забезпечуючи доступ до освіти, охорони здоров'я. Наявність розвиненої інфраструктури забезпечує залучення інвестиції, сприяє створенню робочих місць, підвищуючи загальний рівень соціальної справедливості.

Для ефективного використання цього потенціалу важливо удосконалити цифрову інфраструктуру, інвестувати в розвиток цифрових технологій та підготовку фахівців, здатних адаптуватися до нових умов праці. Потрібно також створювати надійні механізми захисту даних та кібербезпеки. Крім того, потрібно розробляти політику, яка сприятиме інноваціям та підтримці технологічних стартапів, забезпечуючи рівний доступ до цифрових ресурсів для всіх верств населення. Етапи впровадження інфраструктурних проєктів представлено на рис 2.2.

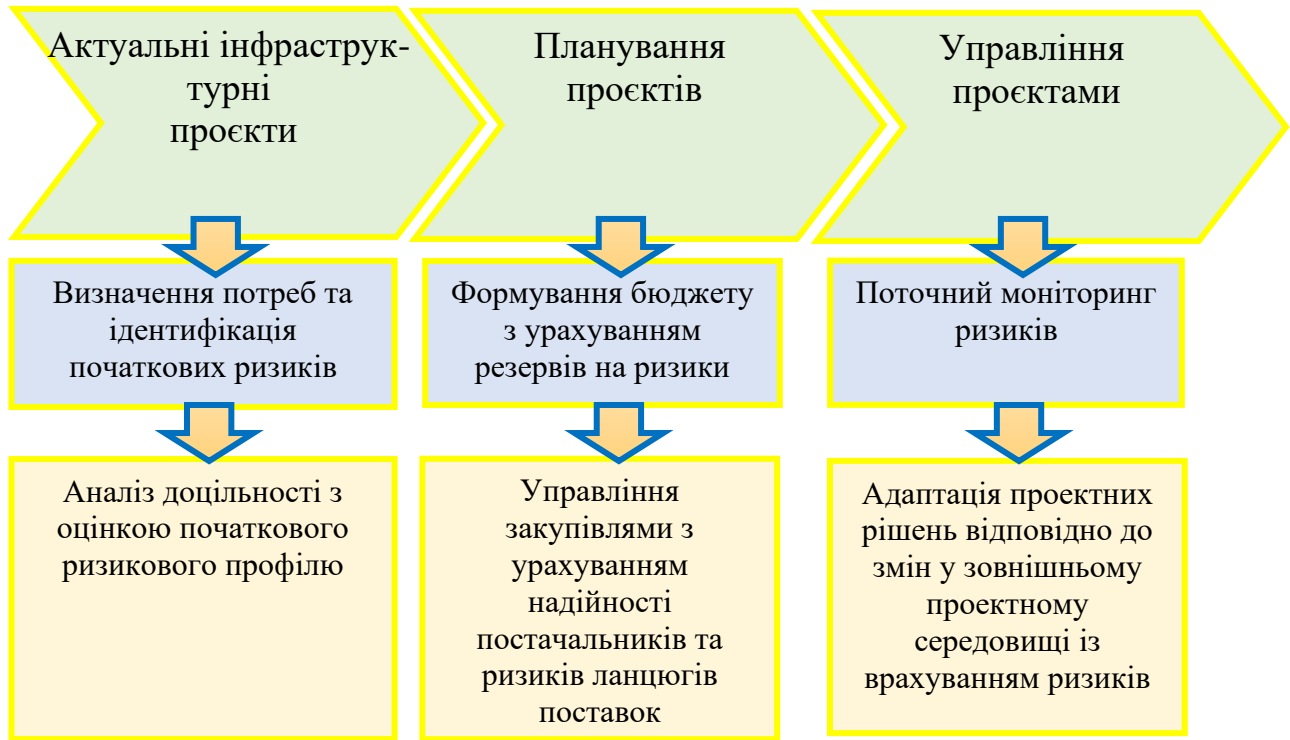


Рисунок 2.2 – Етапи реалізації інфраструктурних проєктів з інтегрованим управлінням ризиками (*Джерело: власна розробка)

Рисунок 2.2 етапи реалізації інфраструктурних проєктів із інтегрованим управлінням ризиками. Виділено три логічно взаємопов'язані блоки, що відповідають основним фазам життєвого циклу інфраструктурних проєктів – визначення актуальних проєктів, планування та управління реалізацією.

Перший блок «Актуальні інфраструктурні проєкти» охоплює початкову фазу, яка передбачає аналіз потреб територіальної громади чи сектору інфраструктури, ідентифікацію початкових ризиків та оцінку доцільності проєктних ініціатив. На даному етапі формується початковий ризиковий профіль R_0 , що описується як функція множини початкових факторів ризику:

$$R_0 = f\left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i\right), \quad (2.5)$$

де P_i – імовірність виникнення окремого ризику; C_i – величина потенційних наслідків.

Другий блок «Планування проєктів» включає детальне формування бюджету з урахуванням резервів на покриття ідентифікованих ризиків. Розрахунок бюджету B з урахуванням резервів виконується за формулою:

$$B = B_p + \sum_{j=1}^m R_j, \quad (2.6)$$

де B_p – первинний запланований бюджет без врахування ризиків; R_j – величини необхідних резервів для покриття виявлених ризиків.

Крім того, здійснюється управління закупівлями з оцінкою надійності постачальників та ризиків у ланцюгах поставок. Оцінку ризиків закупівель R_z можна представити як функцію:

$$R_z = g(S_p, D_s, Q_c), \quad (2.7)$$

де S_p – фінансова стабільність постачальника; D_s – диверсифікація джерел постачання; Q_c – якість контролю поставок.

Третій блок «Управління проєктами» фокусується на операційному управлінні ризиками під час виконання робіт та їх адаптації до змін зовнішнього середовища. На цьому етапі реалізується поточний моніторинг ризиків R_t , який включає регулярну переоцінку існуючих загроз у динамічному середовищі. Формально рівень оновленого ризикового профілю можна виразити як:

$$R_t = R_0 + \Delta R(t), \quad (2.8)$$

де $\Delta R(t)$ – зміна ризикового профілю у часі внаслідок нових факторів проєктного середовища.

Завершальним елементом є адаптація проєктних рішень відповідно до змін проєктного середовища з метою зниження рівня сукупного ризику та забезпечення стійкості функціонування проєкту. Кінцева ефективність управління ризиками в рамках усієї системи оцінюється через показник залишкового ризику R_{res} :

$$R_{res} = R_t - M_a, \quad (2.9)$$

де M_a – ефективність застосованих адаптаційних заходів.

Загалом, запропонований підхід демонструє наскрізну інтеграцію ризик-менеджменту в усі етапи життєвого циклу інфраструктурного проєкту. Такий підхід дозволяє не лише ідентифікувати та оцінювати ризики на старті, але й системно управляти ними в ході реалізації проєктів з урахуванням змін проєктного середовища, забезпечуючи стійкість функціонування об'єктів критичної інфраструктури.

Дотримання послідовності цих етапів у інфраструктурному проєкті є необхідною умовою ефективності розподілу і перерозподілу фінансових ресурсів для прийняття точних управлінських рішень. Саме це забезпечує соціально-економічний розвиток об'єктів критичної інфраструктури [109].

Держава відіграє важливу роль у створенні інфраструктури. Широке розуміння інфраструктури передбачає необхідність розвитку кластерів, які об'єднують дослідницько-розвідувальні центри, лабораторії, інкубатори, акселератори, навчальні заклади, венчурні фонди, інноваційні команди, технологічний бізнес і промисловість.

Ефективне управління цифровізацією інфраструктурних проєктів сприяє інноваційності та потребує врахування стійкості системи при виборі компонентів і параметрів управління.

Для вирішення складних соціально-економічних завдань вони залучають творчих та перспективних громадян, які мають реальні ідеї проєктів для їх подальшої реалізації. Аналогія може допомогти визначити потенційні

можливості для розвитку [156]. За допомогою ІТ відбувається зміна підходів до реалізації перспективних проєктів [152].

Висока ймовірність виникнення ризику змушує партнерів шукати способи зменшення його впливу на реалізацію проєкту, тобто вони прагнуть обмежити вплив ризиків. Заходи для нейтралізації ризиків включають: підвищення вартості проєкту, диверсифікацію, страхування, детальну розробку проєкту, застосування продуманої маркетингової стратегії та вибір найкращих способів фінансування. Організація проєктного фінансування зображено на рисунку 2.3.

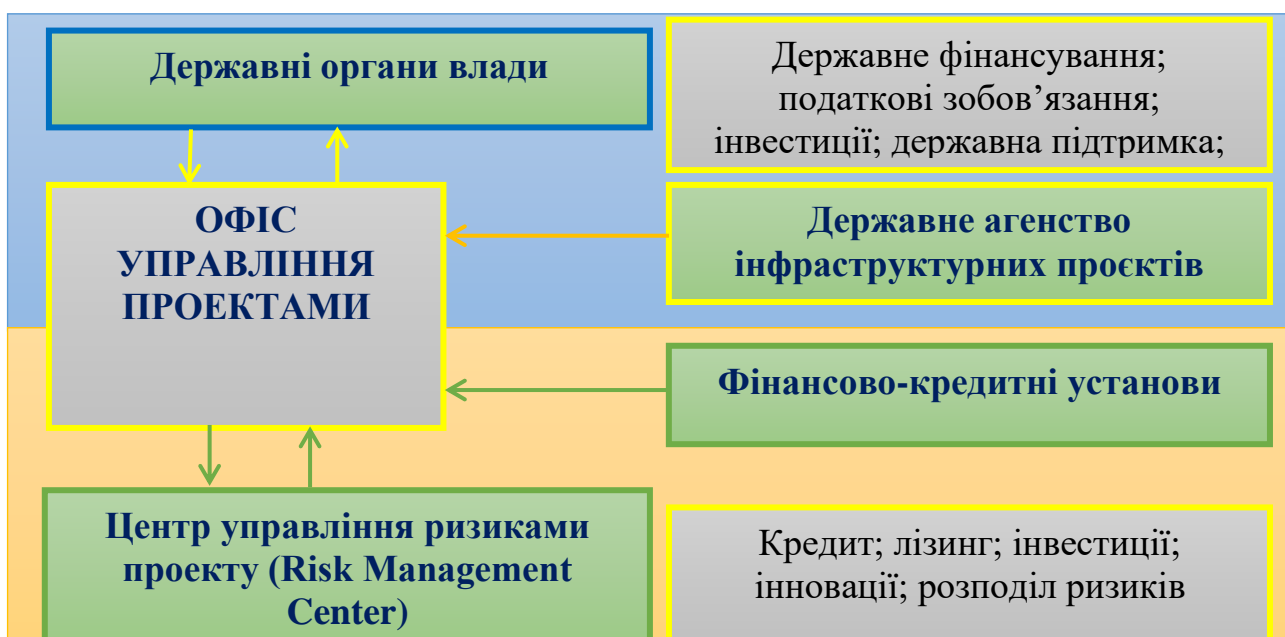


Рисунок 2.3 – Інтеграція ризик-менеджменту в систему проєктного фінансування інфраструктурних проєктів (*Джерело: власна розробка)

На рисунку 2.3 подано схему інтеграції системи управління ризиками в архітектуру проєктного фінансування інфраструктурних проєктів. В її основі лежить розподіл відповідальності за різні типи ризиків між ключовими суб'єктами фінансування та управління проєктом. Центральною ланкою є офіс управління проєктами, що здійснює загальну координацію проєктної діяльності – планування, бюджетування, організацію процесів виконання та контроль за дотриманням планових параметрів проєкту. Безпосереднє управління ризиками зосереджене у спеціалізованому центрі управління ризиками проєкту, який

здійснює ідентифікацію ризиків, їх оцінку, моніторинг, аналіз впливів та формування інтегрального профілю ризиків проєкту.

Формально процес оцінки сукупного ризику фінансування можна описати інтегральною функцією:

$$R_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot C_i) + \sum_{j=1}^m (F_j \cdot S_j), \quad (2.10)$$

де P_i – ймовірність настання i -го ризику; C_i – очікуваний масштаб збитків від його реалізації; F_j – фінансові фактори впливу; S_j – ступінь чутливості до фінансових змін.

З боку державних органів влади формується блок макроекономічної стабільності, який включає інструменти державного фінансування, інвестиційної підтримки, податкових стимулів і законодавчих гарантій. Одночасно діє державне агентство інфраструктурних проєктів, яке виступає оператором інтеграції державних стандартів, контролює дотримання технічних норм, забезпечує нагляд за виконанням проєктних завдань та веде централізовану базу ризиків державного рівня.

Фінансово-кредитні установи представлені банківськими структурами, інвестиційними фондами, лізинговими компаніями, які здійснюють безпосереднє кредитування проєктів, а також беруть участь у розподілі фінансових ризиків. Сумарний кредитний ризик можна виразити через:

$$R_{\text{кр}} = \sum_{k=1}^p (\rho_k \cdot D_k \cdot T_k), \quad (2.11)$$

де ρ_k – ймовірність дефолту; D_k – обсяг кредитних зобов'язань; T_k – період повернення кредиту.

До інших учасників проєктного фінансування віднесено постачальників, підрядні організації, технічних консультантів і експертів з безпеки, які

забезпечують виконання операційних завдань проєкту, водночас генеруючи власні операційні ризики. Сукупний операційний ризик може бути визначений як:

$$R_{on} = \sum_{l=1}^q (\omega_l \cdot O_l), \quad (2.12)$$

де ω_l – фактор операційної ненадійності; O_l – обсяг залучених робіт і послуг.

У такій інтегрованій архітектурі ризик-менеджмент виконує функцію координатора дій усіх учасників, забезпечуючи системний підхід до управління ризиками на всіх етапах життєвого циклу проєкту. Така система дозволяє своєчасно реагувати на зміни зовнішнього та внутрішнього проєктного середовища, оптимізувати ресурси, мінімізувати сукупні ризикові впливи та підвищити стійкість інфраструктурних проєктів до кризових сценаріїв розвитку подій.

Таким чином, запропонований системний підхід до інтеграції ризик-менеджменту у фінансову структуру проєктного управління інфраструктурними проєктами, де кожен суб'єкт несе відповідальність за свою частку ризиків, а Центр управління ризиками проєкту виконує функцію інтегратора, координатора та аналітичного процесора усіх ризикових потоків. Це забезпечує підвищення стійкості інфраструктурних проєктів до комплексних викликів ризикогенних середовищ, особливо в умовах сучасних гібридних загроз.

Ефективність проєкту та управління ризиками знижується, якщо одна зі сторін бере на себе надто мало або надто багато ризиків. Публічно-приватне партнерство дає державному та приватному секторам унікальну можливість розподілити ризики при реалізації інфраструктурного проєкту, забезпечуючи взаємну підтримку для гарантування вигод і переваг для обох сторін.

Розподіл ризиків між державними структурами та приватними партнерами виступає однією з ключових переваг впровадження інфраструктурних проєктів на основі державно-приватного партнерства,

забезпечуючи підвищену захищеність таких проєктів порівняно з традиційними моделями реалізації. В контексті ризик-менеджменту інфраструктурних проєктів доцільно виділити декілька базових груп ризиків, які відображають характерні особливості цих проєктів.

Технічні ризики охоплюють проблематику проєктування, якість підготовки проєктно-кошторисної документації, можливі затримки у виконанні будівельно-монтажних робіт та відхилення від узгодженого календарного графіку реалізації. Ризики невиконання зобов'язань стосуються потенційної неспроможності інфраструктурного об'єкта забезпечити запланований рівень надання послуг в обумовлені терміни та з відповідною якістю.

Фінансові ризики пов'язані із стійкістю джерел фінансування, складнощами фінансового закриття угоди, можливими змінами у вартості ресурсів та кредитних умов протягом життєвого циклу проєкту, що у свою чергу може впливати на його загальну економічну життєздатність.

Окремою групою виступають політичні та регуляторні ризики, які зумовлюються змінами державної економічної політики, адміністративними бар'єрами, корупційними проявами, а також коливаннями у правовій базі, що регулює діяльність інфраструктурних об'єктів, включаючи податкове законодавство, регулювання тарифів та ліцензійні обмеження.

Описане вище підтверджує, що включення управління ризиками до кожної фази життєвого циклу інфраструктурного проєкту дає змогу своєчасно виявляти й оцінювати загрози. Вони впливають на досягнення цілей проєкту. На етапі визначення потреб у ресурсах передбачено врахування початкових ризиків. Це дозволяє визначати обґрунтовані обсяги фінансування та визначати необхідні резерви. Під час планування та реалізації інфраструктурного проєкту важливо відслідковувати зміни у зовнішньому та внутрішньому проєктному середовищі. Це забезпечує виявлення змін та своєчасне коригувати планів, щоб запобігати розвитку критичних ситуацій. Такий комплексний підхід забезпечує адаптивність системи управління. Він підвищує стійкість інфраструктурних об'єктів до непередбачуваних впливів, а також створює умови для їх стабільного функціонування навіть в умовах високої невизначеності.

2.3. Концепція управління ризиками інфраструктурних проєктів

Процес управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів характеризується підвищеною складністю внаслідок високого рівня невизначеності, багатофакторності проєктного середовища, масштабності об'єктів, тривалості життєвого циклу та стратегічної важливості наслідків для функціонування територіальних і державних систем. Формування концепції управління ризиками вимагає інтеграції класичних підходів проєктного управління з урахуванням сучасних викликів цифрової трансформації та загроз комплексного характеру.

Аналіз ризиків у таких проєктах передбачає ідентифікацію потенційних джерел загроз, які можуть виникнути протягом усіх фаз життєвого циклу – від ініціації до експлуатації. До потенційних ризиків відносяться техногенні, природні, економічні, політичні, кібер- та соціальні їх складові. Кожна з категорій ризиків вимагає застосування відповідних методів виявлення, які базуються як на експертних оцінках, так і на математичних та інформаційних моделях. Ідентифіковані ризики оцінюються за двома основними параметрами – ймовірністю настання події та рівнем можливих наслідків.

Комплексна оцінка інтегральних ризиків реалізується через побудову матриць ризиків, де визначається інтегральний показник ризикової складової для кожного із небажаних сценаріїв реалізації проєкту:

$$R_i = P_i \times C_i \times (1 + \alpha \cdot V_i + \beta \cdot E_i + \gamma \cdot D_i), \quad (2.13)$$

де R_i – інтегральна оцінка ризику для i -го сценарію реалізації проєкту; P_i – базова ймовірність виникнення загрози; C_i – базовий рівень наслідків (економічних, соціальних, екологічних тощо); V_i – вразливість об'єкта критичної інфраструктури до конкретного виду загрози (структурна, технологічна, географічна); E_i – зовнішній фактор посилення ризику (геополітична напруга, військові дії, кібератаки, природні катастрофи); D_i –

ступінь цифрової залежності компонента (чим більше процесів оцифровано – тим вища потенційна чутливість до цифрових загроз); α, β, γ – вагові коефіцієнти впливу кожної із складових.

Результати такої оцінки формують основу для вибору адекватних управлінських рішень, які передбачають варіанти мінімізації, прийняття, перенесення або уникнення відповідних ризиків. При цьому особлива роль відводиться системному аналізу безпеко-орієнтованого середовища, яке формується з урахуванням взаємодії внутрішніх процесів проєкту та зовнішнього проєктного середовища, яке впливає на функціонування об'єкта критичної інфраструктури.

Формування концепції управління ризиками інфраструктурних проєктів базується на адаптації існуючих теоретичних і прикладних моделей ризик-менеджменту до специфіки даного класу проєктів. До таких особливостей належать: значна масштабність об'єктів, багаторівневість управлінських структур, стратегічна важливість функціонування, багатостороння участь зацікавлених сторін, складна нормативно-правова база та динамічність зовнішніх умов.

З урахуванням вказаних факторів сучасні концепції управління ризиками передбачають активне застосування цифрових інструментів – систем підтримки прийняття рішень, штучного інтелекту, когнітивних моделей, систем моніторингу в реальному часі, платформ інтегрованої аналітики ризиків та багатокритеріальних моделей прогнозування сценаріїв розвитку ризиків. Інтеграція таких рішень дозволяє не лише реагувати на вже реалізовані загрози, а й здійснювати випереджальне управління змінами за допомогою предиктивної аналітики, формуючи стійкі сценарії розвитку інфраструктурних проєктів у складних умовах ризикогенних проєктних середовищ.

Під *ризикогенним проєктним середовищем* розуміється сукупність зовнішніх та внутрішніх факторів проєктного оточення, які характеризуються підвищеним потенціалом виникнення невизначеностей, загроз та несприятливих змін, що здатні порушити досягнення цільових показників проєкту. Такі середовища відзначаються високою динамікою взаємодії

політичних, економічних, соціальних, техногенних, екологічних, інформаційних та військових процесів, формуючи комплексну багатофакторну систему ризиків, що вимагає застосування інтегрованих моделей випереджального аналізу та управління.

Здійснення аналізу ризиків є важливим етапом процесу планування інфраструктурних проєктів та дає змогу, як мінімізувати ризик невдачі, так і підвищити ефективність виконання проєктів такого типу. В основі аналізу ризиків інфраструктурних проєктів є процес ідентифікації потенційних ризиків в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів.

Одним із аспектів управління ризиками інфраструктурних проєктів, програм та портфелів проєктів є управління проєктними ризиками. Проєктні ризики напряму пов'язані з можливими проблемами, які виникають при реалізації інфраструктурних проєктів. Ці ризики можуть виникати на різних етапах життєвого циклу проєкту – від планування до введення в експлуатацію та подальшого функціонування і управління.

Оскільки управління проєктними ризиками інфраструктурних проєктів є складним організаційно-технічним процесом, проаналізовані та систематизовані дані існуючої проблематики імплементації ризик менеджменту в проєктах та програмах, адаптаційних та гібридних підходів, зокрема в контексті безпеко-орієнтованого управління. Це дало змогу сформувати концепцію моделі управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів (рис. 2.4), яка визначає підходи до ідентифікації, оцінки та управління проєктними ризиками.

Основними етапами формування концепції управління проєктними ризиками є ядро – інфраструктурні проєкти, програми та портфелі проєктів O_{CI} , що формує 5 таких векторних блоків управління на основі синергії та впливу турбулентного зовнішнього та внутрішнього проєктного середовища, регіональної та терм-історичної складових:

– аналіз потенційних ризиків та загроз в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів R_a та їх вплив;



Рисунок 2.4 – Схема формування концепції управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів

- визначення тактики управління ризиками R_s та імплементації відповідних управлінських заходів;
- розробка плану управління проєктними ризиками R_p , який включає методи та інструменти ідентифікації, оцінки та управління ризиками;
- визначення ролей та відповідальності учасників проєкту R_k , щодо управління проєктними ризиками;
- визначення критеріїв успіху функціонування інфраструктурних проєктів, програм та портфелів проєктів та моніторинг ризиків проєкту R_m .

На основі представленої схеми формування концепції управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів (рис. 2.1), здійснимо її формалізацію у вигляді кортежу :

$$O_{CI} = \langle R_a, R_s, R_p, R_k, R_m \rangle. \quad (2.14)$$

Формування та імплементація концепції управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів із урахуванням впливу проєктного середовища, систематизації загроз та врегулювання рівнів та обсягу застосування запрограмованих та незапрограмованих (неструктурованих) проєктних управлінських рішень, дає можливість

гарантувати безпеку та стабільність функціонування об'єктів такого типу, що критично важливо для національної безпеки та економічного розвитку країни, особливо в цей турбулентний період.

2.4. Особливості процесу аналізу ризиків під час планування проєктів створення об'єктів критичної інфраструктури

Окремі регіони стають все більш залежним від інфраструктури, яка забезпечує функціонування економіки та життя населення, особливо в умовах воєнного стану. Об'єкти критичної інфраструктури, такі як енергетичні мережі, гідро-, теплові-, атомні електростанції, транспортні магістралі, системи зв'язку і комунікацій та інші, відіграють важливу роль у забезпеченні цього функціонування. Тому планування та реалізація проєктів, програм і портфелів проєктів з їх створення є надзвичайно важливими завданнями.

Аналіз ризиків – є процесом ідентифікації, оцінки і управління ризиками, які можуть виникнути в ході реалізації проєкту, програми та портфелів проєктів. Він є важливою та основною частиною процесу планування проєкту і дозволяє з однієї сторони мінімізувати ризик невдачі, а з другої сторони підвищити ефективність виконання завдання.

До основних завдань із аналізу ризиків належить ідентифікація потенційних ризиків і визначення їх потенційний вплив на проєкт. Для цього використовується різний теоретичний та прикладний інструментарій з управління проєктами, програмами та портфелями проєктів, зокрема системний аналіз, SWOT аналіз, діаграму Ішікави, метод дерева вирішень та інші.

Окрім цього, важливо оцінити імовірність виникнення ризиків та їхнього впливу на проєкт, програму чи портфель проєктів. Для цього використовують квалітативні і кількісні методи, зокрема як метод Delphi, аналіз сценаріїв, аналіз впливу та інші. На основі дослідження предметної області сформуємо схему аналізу ризиків при плануванні проєктів створення об'єктів критичної інфраструктури (рис. 2.5).

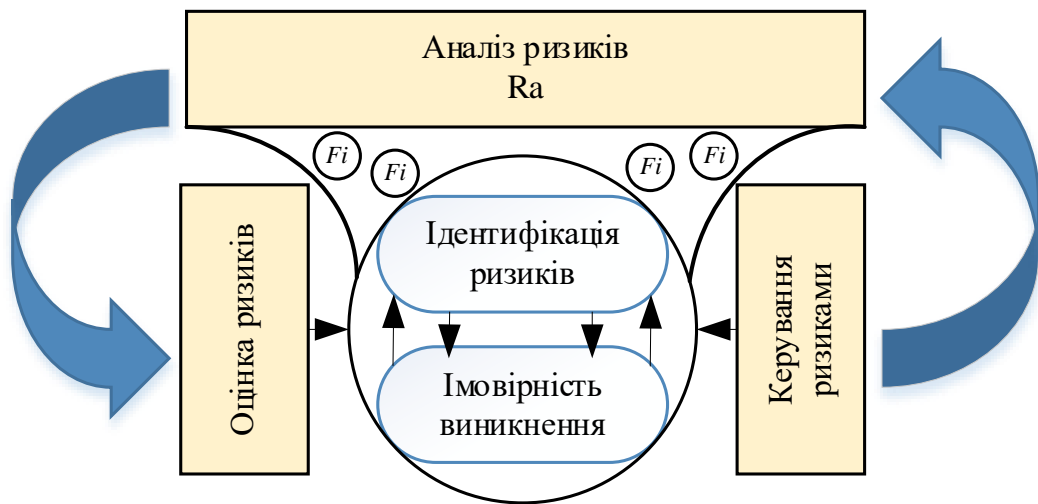


Рисунок 2.5 – Схема аналізу ризиків при плануванні проєктів створення об’єктів критичної інфраструктури

В основі схеми лежить залежність основних блоків, що представлена формалізованим виразом:

$$R_a = \langle A_o; A_m \rangle, \quad (2.15)$$

де R_a – процес аналізу ризиків; A_o – процес оцінки ризиків; A_m – процес керування ризиками.

В свою чергу якісний аналіз ризиків планування проєктів створення об’єктів критичної інфраструктури повинен врахувати внутрішнє оточення, що знаходиться під впливом змінних факторів:

$$R_a \Rightarrow [I_i; I_p], \quad (2.16)$$

де I_i – процес ідентифікації ризиків; I_p – імовірність виникнення ризиків.

Аналіз ризиків у проєктах, програмах та портфелях створення об’єктів критичної інфраструктури є безперервним процесом, що вимагає регулярного оновлення з урахуванням змін динамічного проєктного середовища. Оскільки умови реалізації таких проєктів постійно трансформуються, виникають нові ризики, а ступінь впливу вже відомих загроз може змінюватися. З метою

своєчасної ідентифікації значущих ризиків та розробки ефективних заходів щодо їх мінімізації застосовуються різноманітні аналітичні методики, зокрема FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) та PRA (Probabilistic Risk Assessment). Ретельна оцінка дозволяє визначити пріоритетні загрози й сформувавши план управління ризиками, в якому деталізуються конкретні дії щодо зменшення впливів, контролю й розподілу відповідальності між учасниками проєкту.

Вагоме значення має формування плану контингентних заходів, що передбачає перелік потенційних несприятливих подій, які можуть мати небажаний вплив на проєкт, та алгоритми реагування у разі їх виникнення. Такий план охоплює весь життєвий цикл проєкту, оскільки ризики можуть суттєво змінюватися залежно від фази реалізації – від планування й проєктування до введення в експлуатацію та подальшого функціонування об'єкта.

Особливу увагу під час планування проєктів створення або розвитку об'єктів критичної інфраструктури слід приділяти ризикам зумовленим кіберзагрозам $R_{кіб}$, воєнним ризикам $R_{воєн}$, ризикам зумовленим природними катастрофами та змін клімату $R_{прир}$, а також економічним ризикам $R_{екон}$. Їхній інтегральний вплив на ризики створення або розвитку об'єктів критичної інфраструктури $R_{кр}$ описується виразом:

$$R_{кр} = R_{кіб} + R_{воєн} + R_{прир} + R_{екон}, \quad (2.17)$$

У виразі (2.17) кожна складова відображає групу відповідних ризиків.

Серед найбільш актуальних загроз, що потребують окремого врахування, є ризики кібератак, які можуть спричинити збої у функціонуванні критичних систем інфраструктури. Для зниження їхнього впливу необхідно впроваджувати комплексні заходи кіберзахисту, включаючи розробку спеціалізованих систем імунітету до атак, захист мережевих ресурсів від шкідливого програмного забезпечення, застосування сучасних алгоритмів шифрування даних тощо.

Окрім цього, необхідно передбачати можливі загрози, пов'язані зі змінами клімату, природними катастрофами, військовими конфліктами та іншими форс-мажорними подіями. З метою підвищення стійкості інфраструктури в умовах таких загроз важливо передбачити зберігання резервних даних, резервування енергопостачання, диверсифікацію логістичних каналів, а також розробку планів евакуації та відновлення.

На загальнодержавному рівні доцільним є розроблення національних стратегій управління ризиками критичної інфраструктури, які б містили чіткі протоколи взаємодії між органами влади, операторами інфраструктурних систем і рятувальними службами у разі виникнення кризових ситуацій.

Таким чином, системний аналіз ризиків є необхідною складовою процесу планування проєктів створення об'єктів критичної інфраструктури. Він дозволяє вчасно виявляти й оцінювати потенційні загрози, розробляти відповідні заходи запобігання та забезпечувати безпеку і стійкість реалізації проєктів навіть в умовах динамічно змінюваного ризикового проєктного середовища, зокрема під час військових дій.

2.5. Передумови підвищення ефективності ризик-менеджменту у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури

У сучасних умовах реалізації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури управління ризиками набуває особливого значення, оскільки сама складність проєктного середовища, в якому здійснюються такі проєкти, зумовлює постійну взаємодію технічних, природних, економічних, соціальних і політичних факторів невизначеності. Застосування традиційних підходів до управління ризиками у таких складних проєктах часто є недостатнім, оскільки не дозволяє своєчасно враховувати динамічні зміни ризиків проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури вже на стадії їх планування, виконання та використання продукту.

Цифрові технології відкривають нові можливості для формування адаптивних, багаторівневих систем ризик-менеджменту в проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури. Інтеграція цифрових інструментів дозволяє на етапі планування розвитку об'єктів критичної інфраструктури здійснювати моделювання складних сценаріїв розвитку подій щодо їх реалізації, виявляти вразливі зони територій, визначати слабкі місця архітектурних рішень об'єктів критичної інфраструктури і формувати стратегічні альтернативи розвитку проєкту з урахуванням прогнозованих загроз.

Математично процес впливу цифрових технологій на стійкість проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури описується інтегральною моделлю стійкості:

$$S_p = S_0 + \beta \cdot D - \gamma \cdot (R_t + R_e + R_c), \quad (2.18)$$

де S_p – інтегральна стійкість проєкту розвитку об'єкта критичної інфраструктури; S_0 – базовий рівень стійкості за відсутності цифрових втручань; D – індекс цифрової підготовленості проєктної команди та території; R_t – технічні ризики; R_e – економічні ризики; R_c – сукупні зовнішні ризики (політичні, воєнні, соціальні); β та γ – відповідно коефіцієнти чутливості стійкості до зростання цифрової зрілості та впливу ризиків.

Реалізація проєкту розвитку об'єкта критичної інфраструктури передбачає динамічну зміну параметрів цифрової зрілості і ризиків у часі. Це дозволяє описати процес адаптації моделі наступною рекурентною залежністю:

$$S_p^{(n)} = S_p^{(n-1)} + \Delta S_{digital} - \Delta S_{risk}, \quad (2.19)$$

де $\Delta S_{digital}$ – приріст стійкості внаслідок впровадження нових цифрових рішень; ΔS_{risk} – зниження стійкості внаслідок актуалізації зовнішніх загроз на кожному новому етапі життєвого циклу проєкту розвитку об'єкта критичної інфраструктури.

Важливою особливістю цифрових технологій у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури є їх інтеграція на всіх етапах життєвого циклу. На етапі планування активно застосовуються геоінформаційні системи, супутниковий моніторинг, дрони для аналізу територій, оцінки ризику підтоплень, зсувів та інших природних небезпек. Під час планування формуються BIM-моделі, у яких закладаються сценарії поведінки об'єктів критичної інфраструктури в умовах надзвичайних подій. Під час фінансового планування розвитку об'єктів критичної інфраструктури використовується моделювання інвестиційних ризиків на основі симуляційних цифрових платформ. Під час виконання будівельних робіт у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури використовують SCADA-системи, IoT-моніторинг процесів, а в період експлуатації функціонують центри постійного моніторингу ризиків із застосуванням великих даних та штучного інтелекту.

У таблиці 2.2 наведено основні напрями інтеграції цифрових інструментів на різних етапах реалізації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Таблиця 2.2 – Використання цифрових інструментів на етапах реалізації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури

Етап життєвого циклу проєкту	Основні цифрові інструменти	Результати використання цифрових інструментів
Ініціація	ГІС, дрони, супутниковий аналіз	Ідентифікація просторових вразливостей
Планування	BIM-моделі, сценарне моделювання	Інтеграція сценаріїв надзвичайних ситуацій
Виконання	SCADA, IoT-сенсори	Контроль ризиків на будівельному майданчику
Експлуатація	Центри моніторингу ризиків	Адаптивне управління протягом життєвого циклу

Інтегрована цифрова система управління ризиками формує багаторівневу інформаційну структуру, яка включає потоки даних із сенсорних систем, просторових джерел, мережевих інформаційних каналів та аналітичних платформ обробки великих даних. Це дозволяє у реальному часі не лише ідентифікувати появу нових ризикових факторів, але й прогнозувати можливі сценарії їх розвитку.

На рисунку 2.6 наведено концептуальну схему цифрової інтеграції ризик-менеджменту в управління проектами розвитку об'єктів критичної інфраструктури.



Рисунок 2.6 – Концептуальна схема цифрового управління ризиками в проектах розвитку об'єктів критичної інфраструктури

Для узагальнення результатів впровадження цифрових технологій у проекти розвитку об'єктів критичної інфраструктури доцільно представити зміну інтегральної стійкості як функцію залежності від рівня цифрової зрілості та ризику.

На графіку (рис. 2.7) відображено взаємозалежність інтегральної стійкості системи управління проектами, рівня цифрової зрілості та ризику. По

горизонтальній осі представлено рівень цифрової зрілості, що характеризує ступінь інтегрованості цифрових технологій у процеси управління проектною діяльністю. Зі збільшенням цього показника відбувається послідовний перехід від фрагментарного використання окремих цифрових рішень до комплексної цифрової трансформації управлінських функцій. По вертикальній осі відображено інтегральну стійкість, яка охоплює сукупність характеристик стабільності функціонування проектного офісу за умов впливу зовнішніх і внутрішніх загроз, а також спроможність зберігати функціональні характеристики в умовах невизначеності.

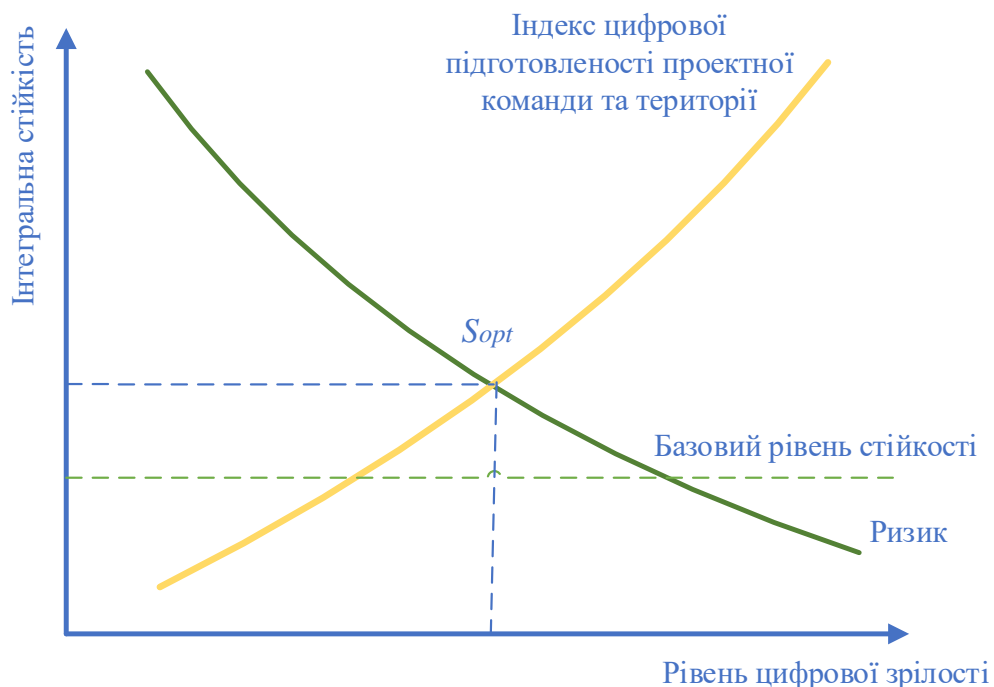


Рисунок 2.7 – Графік зміни інтегральної стійкості залежно від рівня цифрової зрілості та ризику

По горизонтальній осі відображено зростання цифрової зрілості, що трактується як узагальнене відображення глибини інтеграції інструментів цифрового супроводу управлінських процесів. Зміщення вправо цієї координати символізує еволюційне нарощування потенціалу використання цифрових платформ, аналітичних систем, автоматизованих алгоритмів обробки даних та синхронізації інформаційних потоків у рамках проектною діяльністю.

Вертикальна вісь окреслює інтегральну стійкість, яка репрезентує сукупну здатність системи підтримувати безперервність і передбачуваність реалізації проєктних задач за умов дії внутрішніх і зовнішніх дестабілізуючих факторів проєктного середовища. Одночасно нанесено графічну залежність рівня ризику, що демонструє спадну динаміку у міру наростання цифрової інтеграції. В початкових фазах розвитку цифрових технологій система управління проєктами зберігає відносно високий рівень ризику, що пояснюється обмеженими можливостями моніторингу, аналізу та управління відхиленнями на ранніх стадіях виникнення потенційних загроз. Дефіцит оперативної інформації, фрагментарність аналітики та несвоєчасність реагування створюють передумови для накопичення невизначеностей у процесі виконання проєктних рішень.

Поглиблення цифрової трансформації спричиняє якісні зміни в системі управління, оскільки запровадження автоматизованих механізмів аналізу даних, сценарного прогнозування, верифікації ресурсних обмежень і багатоваріантного моделювання розвитку проєктного середовища поступово знижує ризикову складову реалізації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури. Нарощування цифрової зрілості супроводжується суттєвим підвищенням стійкості до кризових відхилень завдяки формуванню спроможностей проєктних менеджерів проактивно ідентифікувати потенційні загрози, моделювати альтернативні сценарії розвитку проєкту та оперативно оптимізувати управлінські впливи.

Особливий аналітичний інтерес викликає виділена на графіку точка S_{opt} , що відображає оптимальний рівень цифрової зрілості, за якого досягається баланс між мінімізацією ризикових параметрів і максимізацією інтегральної стійкості. Досягнення цієї точки розглядається як стратегічно бажаний стан системи управління проєктами, що забезпечує її адаптивну стабільність за умов невизначених зовнішніх впливів проєктного середовища. Після подолання порогу S_{opt} подальше зростання цифрової зрілості продовжує посилювати стійкість, однак ефект зниження ризику поступово зменшується, оскільки

основні вразливості уже нейтралізовано на попередніх етапах життєвого циклу проєктів.

Додатковий інтерес становить порівняння початкового базового рівня стійкості, сформованого ще до впровадження повномасштабних цифрових технологій, із показниками стійкості після їх інтеграції. Такий порівняльний підхід дозволяє обґрунтувати доцільність впровадження цифрових платформ у систему управління проєктною діяльністю як одного з фундаментальних чинників забезпечення її довгострокової стабільності, гнучкості реагування на зміни проєктного середовища та підвищення ефективності досягнення проєктних цілей в умовах зростання складності зовнішніх викликів.

Таким чином, цифрові технології стають основою стратегічного управління ризиками на всіх етапах планування, реалізації та експлуатації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури. Їх застосування дозволяє забезпечити системне прогнозування ризиків, точну локалізацію вразливостей, формування адаптивних сценаріїв реагування на небажані події у проєктному середовищі, як наслідок, досягнення високого рівня стійкості проєкту ще на етапі його планування.

2.6. Цифровізація процесу управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури

Проєкти розвитку об'єктів критичної інфраструктури характеризуються високою динамікою змін проєктного середовища, що зумовлює потребу у використанні адаптивних процесів управління змінами. У цих умовах основну роль відіграє цифровізація як фактор, що дозволяє ефективно і своєчасно виявляти зміни у внутрішньому та зовнішньому проєктному середовищі проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури, оперативно їх аналізувати та адаптувати стратегії управління до нових викликів.

Запровадження цифрових технологій для виконання процесу управління змінами формує нову концепцію цифрової трансформації управління проєктами

розвитку об'єктів критичної інфраструктури. Цифрова трансформація забезпечує створення інтегрованих інформаційно-аналітичних систем, які акумулюють дані з різноманітних джерел, включаючи моніторинг зовнішнього проектного середовища, внутрішні показники ефективності проектів, зокрема економічні, соціальні, політичні та екологічні їх складові.

Одним із процесів формування стратегії цифрової трансформації управління змінами у проектах розвитку об'єктів критичної інфраструктури є комплексна оцінка зовнішнього проектного середовища. Для цього застосовується адаптований PEST-аналіз [154], результати якого представлено на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 – PEST-аналіз факторів зовнішнього проектного середовища цифрової трансформації управління змінами у проектах розвитку об'єктів критичної інфраструктури

На рисунку 2.8 відображено системний підхід до оцінки зовнішнього проектного середовища у процесі управління змінами в проєктах розвитку критичної інфраструктури з урахуванням впливу цифровізації. Виділено чотири групи факторів – політичні, економічні, соціальні та технологічні, що комплексно визначають умови реалізації проєктів в умовах цифрової трансформації.

Політична складова охоплює нормативно-правове забезпечення цифровізації, державну підтримку інноваційних проєктів, міжнародну співпрацю та торговельні обмеження. Суттєвий вплив мають стабільність законодавчого поля та наявність стимулюючих механізмів державної політики щодо розвитку цифрових компонентів інфраструктурних об'єктів.

Економічна група факторів концентрується на доступності фінансових ресурсів для впровадження цифрових технологій, стабільності макроекономічної ситуації та інвестиційному кліматі. Фінансові стимули, державні субсидії, пільгове кредитування, наявність інноваційних фондів створюють основу для масштабування цифрових перетворень у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Соціальні фактори характеризують готовність суспільства до впровадження змін. Важливу роль відіграють демографічні особливості населення, міграційні процеси, урбанізація, а також рівень обізнаності громадськості із сучасними цифровими технологіями. Суспільна підтримка інновацій підвищує прийнятність проєктних рішень і знижує соціальні ризики впровадження змін.

Технологічна складова об'єднує рівень доступності сучасних технологій, таких як Інтернет речей, штучний інтелект, блокчейн, а також сформованість інфраструктури кібербезпеки. Технологічна готовність до впровадження інновацій визначає глибину можливостей цифровізації управління змінами на кожній фазі розвитку проєкту розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Комплексний аналіз усіх зазначених факторів дозволяє сформуванню обґрунтовану стратегію цифрової трансформації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури. Врахування їх динаміки забезпечує можливість

гнучкого коригування управлінських рішень у відповідь на зміни проектного середовища, що є базовою умовою формування належної стійкості об'єктів критичної інфраструктури в мінливих умовах проектного середовища.

З метою забезпечення системності процесу цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури доцільно виділити концептуальну модель інтеграції цифрових інструментів у процеси адаптації проєктів, що описана у п. 3.1.

У процесі цифрової трансформації важливим є не лише реагування на зміни, а й здатність їх прогнозувати. Для цього формуються цифрові аналітичні платформи, що акумулюють великі дані (Big Data), здійснюють їх предиктивну обробку та генерують сценарії розвитку подій.

У таблиці 2.3 систематизовано основні напрями застосування цифрових інструментів у процесах управління змінами в проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Таблиця 2.3 – Цифрові інструменти підтримки управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури

Процес управління змінами	Цифрові технології
Виявлення змін	Моніторинг даних в режимі реального часу, аналіз соціальних мереж, супутникова аналітика
Аналіз змін	Big Data-аналітика, когнітивні системи, прогнозні моделі
Прийняття рішень	Інтерактивні системи сценарного аналізу, панелі управління, дашборди
Реалізація адаптації	Автоматизоване переналаштування ІТ-систем, гнучке перепланування проєктних графіків
Моніторинг ефективності	КРІ-аналіз, інтегровані аналітичні панелі оцінки результатів змін

Таким чином, цифровізація управління змінами в проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури забезпечує не лише оперативність адаптації

дій у зазначених проєктах до змін зовнішньої та внутрішньої складових проєктного середовища, а й формує основу для забезпечення стійкості продуктів проєктів у перспективі.

2.7. Інтелектуальне проєктно-орієнтоване управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури

Функціонування об'єктів критичної інфраструктури, таких як енергетичні системи, транспортні вузли, телекомунікаційні мережі, водогосподарські та промислові комплекси, відбувається в умовах зростаючого ризикового тиску з боку зовнішнього проєктного середовища. Особливо актуалізується ця проблема в період воєнних дій, коли додатково виникають загрози прямих атак, диверсій, порушення логістичних ланцюгів, кібератак, а також посилення кліматичних та техногенних ризиків. Така динаміка загроз обумовлює необхідність розроблення принципово нових підходів до управління ризиками в проєктній діяльності.

Одним із перспективних напрямів є застосування інтелектуального проєктно-орієнтованого управління ризиками, яке інтегрує технології штучного інтелекту, когнітивної аналітики, машинного навчання та автоматизованого моніторингу до класичних концепцій проєктного менеджменту. Формально процес інтелектуального управління ризиками можна представити узагальненою функціональною залежністю:

$$R_{\text{int}} = f(D, M, P, S, E), \quad (2.20)$$

де D – обсяг вхідних даних (первинна інформація про об'єкт і проєктне середовище); M – математичні методи обробки даних (штучний інтелект, Big Data, когнітивні моделі); P – процеси прийняття управлінських рішень; S – сценарні моделі прогнозування розвитку подій; E – адаптаційні механізми реагування.

Інтелектуальні системи дозволяють здійснювати швидку обробку великого масиву вхідної інформації, автоматично ідентифікувати приховані залежності між факторами ризику, виявляти закономірності і прогнозувати ймовірність розвитку ризикових сценаріїв. Процес формування адаптивної моделі реагування в межах проєкту може бути записаний у вигляді:

$$A = A_0 + \alpha \cdot (I_d \cdot C_f) - \beta \cdot R_a, \quad (2.21)$$

де A – поточна адаптаційна спроможність управління ризиками; A_0 – початковий рівень спроможності системи; I_d – рівень інтегрованої обробки даних; C_f – коефіцієнт ефективності застосування інтелектуальних моделей; R_a – агрегований рівень актуальних ризиків.

Узагальнено типи загроз і відповідних інтелектуальних інструментів наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Інтелектуальні інструменти реагування на основні групи ризиків

Група ризиків	Інструменти аналізу	Інструменти реагування
Техногенні	Когнітивні графи несправностей	Автоматизовані системи попередження аварій (SCADA+)
Кіберзагрози	Машинне навчання для аномалій у мережах	Динамічні системи ізоляції сегментів мережі
Воєнні ризики	Просторове моделювання загроз (GIS+AI)	Прогнозування критичних вразливих зон
Природні катастрофи	Кліматичне моделювання (AI+Remote Sensing)	Забезпечення мультиканальних каналів резервування
Фінансові	Big Data аналіз вартості	Динамічне коригування фінансових моделей проєкту

Особливістю даного підходу є поєднання прогностичної аналітики та реального управлінського контролю в єдиній замкненій системі. Це дозволяє виявляти ризики ще на стадії їхнього формування, здійснювати їх ранжування за критичністю, розробляти персоналізовані стратегії реагування.

Слід зазначити, що реалізація такого інтелектуального підходу потребує вирішення низки організаційних, правових і технічних питань. Зокрема, це стосується формування єдиних стандартів кіберзахисту критичної інфраструктури, забезпечення конфіденційності обробки великих обсягів інформації, визначення рівнів доступу до даних, а також створення міжвідомчих центрів інтегрованого моніторингу та реагування.

Узагальнюючи вище сказане слід зазначити, що інтелектуальне проектно-орієнтоване управління ризиками формує нову якість безпеки об'єктів критичної інфраструктури. Це дозволяє підвищити гнучкість системи проектного управління, зменшити час реагування на кризові події, мінімізувати соціально-економічні наслідки аварій та забезпечити стійкість об'єктів критичної інфраструктури навіть у надзвичайно складних сучасних умовах, які стосуються воєнних та гібридних загроз.

2.8. Особливості та доцільність захисту об'єктів критичної інфраструктури під час реалізації інфраструктурних проектів в умовах воєнного стану

Під час реалізації інфраструктурних проектів, особливо в умовах збройної агресії росії проти України, питання захисту об'єктів критичної інфраструктури набуває особливої актуальності. Масштабні пошкодження енергетичних, транспортних, промислових, комунальних та інших об'єктів формують гостру необхідність створення нових методологічних підходів до управління ризиками та проектного планування в умовах високої невизначеності та кризових сценаріїв.

Процес захисту об'єктів критичної інфраструктури можна формалізувати як систему адаптивних заходів, яка функціонує в динамічно змінному середовищі. Узагальнена модель прийняття управлінських рішень з безпекового захисту об'єктів критичної інфраструктури в умовах воєнного стану визначається у вигляді:

$$P_{p1} = \langle I_v; D_s; T_i; H_r; K_b; T_p; C_s \rangle, \quad (2.22)$$

де I_v – ідентифікація вразливостей об'єктів критичної інфраструктури; D_s – стратегія захисту об'єктів критичної інфраструктури; T_i – імплементація технологічних рішень; H_r – підготовка персоналу до кризового управління; K_b – створення резервної інфраструктури підтримки; T_p – тестування і оновлення рішень; C_s – координація органів безпеки.

Враховуючи високий рівень невизначеності, додатково вводимо коефіцієнт захищеності об'єкта Z_s , який визначається як функція від інтенсивності зовнішніх загроз I_z , ефективності запобіжних заходів E_p та адаптивної гнучкості системи управління A_f :

$$Z_s = \frac{E_p \cdot A_f}{I_z}, \quad (2.23)$$

де $Z_s \rightarrow 1$ – значення свідчить про високий рівень захищеності об'єкта; $Z_s \leq 0$ – значення свідчить про критичну вразливість.

На кожному етапі планування і реалізації інфраструктурних проєктів з посиленням безпековим компонентом формується система ризик-менеджменту, що враховує специфічні категорії загроз. Зведемо їх у таблицю 2.5.

Важливою особливістю є мультиагентна природа управління безпекою об'єктів критичної інфраструктури. Система прийняття рішень повинна враховувати взаємодію таких учасників, як державні регулятори, органи влади,

силові структури, керівні органи проєктів, офіси кризового реагування, командні центри, зовнішні партнери та міжнародні організації.

Таблиця 2.5 – Класифікація основних ризиків щодо захисту об’єктів критичної інфраструктури під час реалізації інфраструктурних проєктів в умовах війни

Категорія ризиків	Прояв
Фізичні загрози	Ракетні обстріли, вибухи, руйнування об’єктів
Кіберзагрози	Хакерські атаки на ІТ-системи управління
Енергетичні ризики	Знеструмлення об’єкта, втрата енергопостачання
Логістичні ризики	Блокада маршрутів постачання ресурсів
Інформаційні ризики	Дезінформація, втручання у канали зв’язку
Персональні ризики	Виведення з ладу персоналу, саботаж
Репутаційні ризики	Зниження довіри до стійкості системи

Інтегральна оцінка ефективності системи захисту формується на основі критерію стійкості функціонування об’єкта S_f , що описується функцією:

$$S_f = \int_{t_0}^{t_n} [W_1 \cdot Z_s(t) + W_2 \cdot R_c(t) - W_3 \cdot R_e(t)] dt, \quad (2.24)$$

де W_1 , W_2 , W_3 – відповідно вагові коефіцієнти вагомості стабільності, оперативності реагування та економічних втрат; $R_c(t)$ – інтенсивність оперативного реагування на інциденти; $R_e(t)$ – економічні втрати внаслідок ризиків.

Оптимізація такого інтегрального показника S_f дозволяє формувати стратегічно обґрунтовані портфелі проєктів захисту критичної інфраструктури. Візуально структура системи управління захистом критичної інфраструктури в умовах воєнного стану представлена на рисунку 2.9.

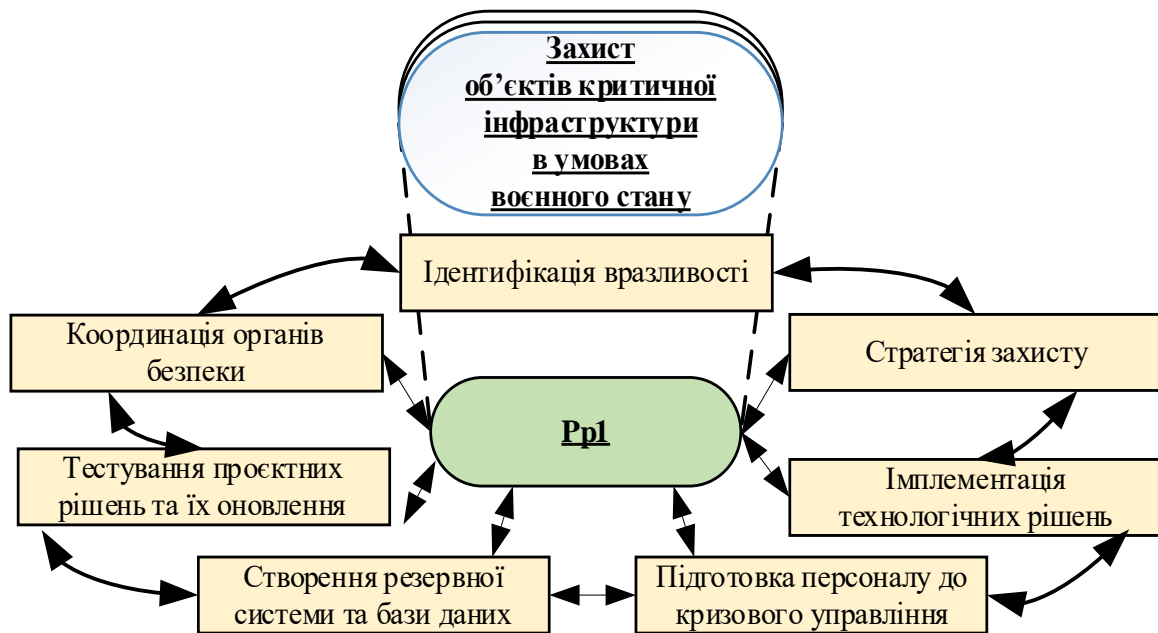


Рисунок 2.9 – Схема обґрунтування управлінських рішень щодо захисту об'єктів критичної інфраструктури під час реалізації інфраструктурних проєктів в умовах воєнного стану

Таким чином, обґрунтування управлінських рішень щодо захисту об'єктів критичної інфраструктури під час реалізації інфраструктурних проєктів в умовах воєнного стану повинно базуватись на гнучкому мультифакторному аналізі загроз, побудові імунних систем захисту, впровадженні інтелектуальних технологій управління ризиками та координації між усіма задіяними структурами. Це дозволить підвищити стійкість реалізації інфраструктурних проєктів завдяки функціонуванню сталому об'єктів критичної інфраструктури навіть за умов агресивних і деструктивних зовнішніх факторів проєктного середовища.

Висновки до розділу 2

1. Запропонований підхід до формування життєвого циклу розвитку інфраструктурних об'єктів в умовах невизначеності та ризиків відображає динаміку взаємодії інфраструктурного проєкту з динамічним проєктним

середовищем на кожній фазі реалізації. Особливістю моделі є формування і поступове нарощування внутрішньої системи спротиву та імунної безпекової архітектури інфраструктурних проєктів, що дозволяє своєчасно ідентифікувати, локалізувати та мінімізувати вплив ризиків. Запропонований підхід забезпечує адаптивність управлінських рішень, підвищує стійкість інфраструктурних проєктів до зовнішніх загроз та сприяє досягненню стабільного функціонування об'єкта критичної інфраструктури в умовах високої динаміки змін і невизначеності.

2. Інтеграція ризик-менеджменту у життєвий цикл інфраструктурного проєкту дозволяє своєчасно виявляти загрози, формувати резерви для їх подолання та оперативно реагувати на зміни середовища. Такий підхід підвищує стійкість проєкту і забезпечує його стабільну реалізацію навіть за умов невизначеності.

3. Запропонована концепція управління ризиками інфраструктурних проєктів ґрунтується на поєднанні системного аналізу проєктного середовища з урахуванням динаміки сучасних загроз та особливостей функціонування об'єктів критичної інфраструктури. Вона передбачає адаптацію інструментів ризик-менеджменту до умов підвищеної невизначеності та багатофакторності проєктного середовища впродовж усіх фаз життєвого циклу проєкту, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни проєктного середовища, мінімізувати негативні наслідки ризикових подій і забезпечувати стійкий розвиток об'єктів критичної інфраструктури.

4. На етапі планування проєктів створення об'єктів критичної інфраструктури особливої ваги набуває аналіз ризиків, який охоплює як виявлення загроз, так і оцінку ймовірних наслідків їх реалізації. Використання відповідних методів дозволяє сформувати реалістичну картину потенційних ускладнень та вчасно вжити необхідних заходів. У складних умовах, зокрема під час воєнних дій, такий підхід сприяє збереженню керованості проєкту, зменшенню непередбачених витрат і підвищенню загального рівня безпеки реалізації запланованих рішень.

5. Застосування цифрових технологій значною мірою впливає на ефективність управління ризиками в інфраструктурних проєктах, починаючи від етапу планування і завершуючи експлуатацією створеного продукту. Ці інструменти дозволяють поєднати аналітику з реагуванням на динамічне проєктне середовище, що в умовах сучасних загроз має вирішальне значення у інфраструктурних проєктах. Забезпечення точного моніторингу вразливих ділянок, своєчасне моделювання сценаріїв розвитку подій і можливість їх корегування формує передумови для реалізації інфраструктурних проєктів, здатних бути ефективними навіть за умов ризику та невизначеності проєктного середовища.

6. Наявні цифрові платформи дають змогу не лише оперативно адаптувати управлінські рішення до змін у проєктному середовищі, але й кількісно прогнозувати сценарії з наявними ризиками на основі великого обсягу даних про стан проєктного середовища. Це лежить в основі створення концептуальної моделі цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури, що враховує системну дію політичних, економічних, соціальних та технологічних факторів динамічного проєктного середовища.

7. Встановлено, що інтелектуальне проєктно-орієнтоване управління ризиками формує нову якість безпеки об'єктів критичної інфраструктури. Це дозволяє підвищити гнучкість системи проєктного управління, зменшити час реагування на кризові події, мінімізувати соціально-економічні наслідки аварій та забезпечити стійкість об'єктів критичної інфраструктури навіть у надзвичайно складних сучасних умовах, які стосуються воєнних та гібридних загроз.

8. Пропонується здійснювати системне та багаторівневе управління під час обґрунтування управлінських рішень щодо захисту об'єктів критичної інфраструктури в умовах воєнного стану. Запропонований підхід забезпечує підвищення стійкості об'єктів до кризових загроз і формує адаптивну систему реагування на змінну конфігурацію загроз у воєнний період.

Розділ 3

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРОЄКТІВ РОЗВИТКУ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

3.1. Модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах

На основі дослідження предметної області встановлено, що під час управління інфраструктурними проєктами слід надавати перевагу тактичному управління ризиками над стратегічним управлінням ризиками. Це підтверджується тим, що інфраструктурні проєкти та їх продукти, є потенційно важливими та критичними об'єктами із життєзабезпечення населення та територій. Оскільки, тактичне управління ризиками дає змогу предметно та оперативно застосовувати управлінський інструментарій, а також адаптувати антикризові управлінські рішення під існуючу проєктне середовище, то існує перевага тактичного над комплексним стратегічним управлінням ризиками. Саме це розглядається в рамках глобального процесу ризик менеджменту інфраструктурних проєктів, програм та портфелів проєктів.

Нами запропоновано модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів (рис. 3.1).

В основі моделі наявно 5 блоків тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів, які поєднані проєктними зв'язками на різних фазах життєвого циклу та впливу факторів динамічного проєктного середовища. Формалізовано модель описується виразом:

$$T_m = \langle R_a, A_o, R_s, R_k, R_m \rangle; T_m \Rightarrow P_{st} \in [0;1], \quad (3.1)$$

де T_m – тактика управління ризиками інфраструктурних проєктів, програм та портфелів проєктів; R_a – аналіз ризиків під час планування інфраструктурних

проектів; A_o – оцінка ризиків інфраструктурних проектів; R_s – формування тактики управління ризиками інфраструктурних проектів; R_k – імплементація та моніторинг тактичних підходів управління ризиками інфраструктурних проектів; R_m – удосконалення тактики управління ризиками та взаємодія стейкхолдерів інфраструктурних проектів; P_{st} – стан безпечного та стабільного функціонування інфраструктурних проектів, що є інтегральним оціночним показником, який перебуває в діапазоні від 0 до 1, де 1 є еталонним станом безпеки.

Якісний аналіз ризиків під час планування інфраструктурних проектів передбачає детальне дослідження змісту запланованих заходів і виявлення загроз, що можуть виникнути на різних етапах їх реалізації. Такий аналіз охоплює ідентифікацію потенційних загроз і визначення вразливих компонентів продуктів інфраструктурних проектів, програм і портфелів. Ці об'єкти постійно перебувають під впливом динамічного проектного середовища.

Серед особливо значущих загроз, які потребують ретельного аналізу на етапі планування, виділяють ризики кібератак, воєнних конфліктів, природних катастроф та техногенних аварій. Їхня наявність суттєво порушує як хід реалізації проектів, так і подальшу безпечну експлуатацію об'єктів критичної інфраструктури.

У зв'язку з цим одним із основних завдань стає своєчасне врахування ризиків кібербезпеки й розробка дієвих превентивних заходів. Серед таких заходів особливо важливими є створення багаторівневих систем захисту інформаційних мереж, впровадження технологій шифрування даних, застосування засобів захисту від зловмисного програмного забезпечення та розвиток систем протиповітряної й протиракетної оборони для охорони об'єктів критичної інфраструктури.

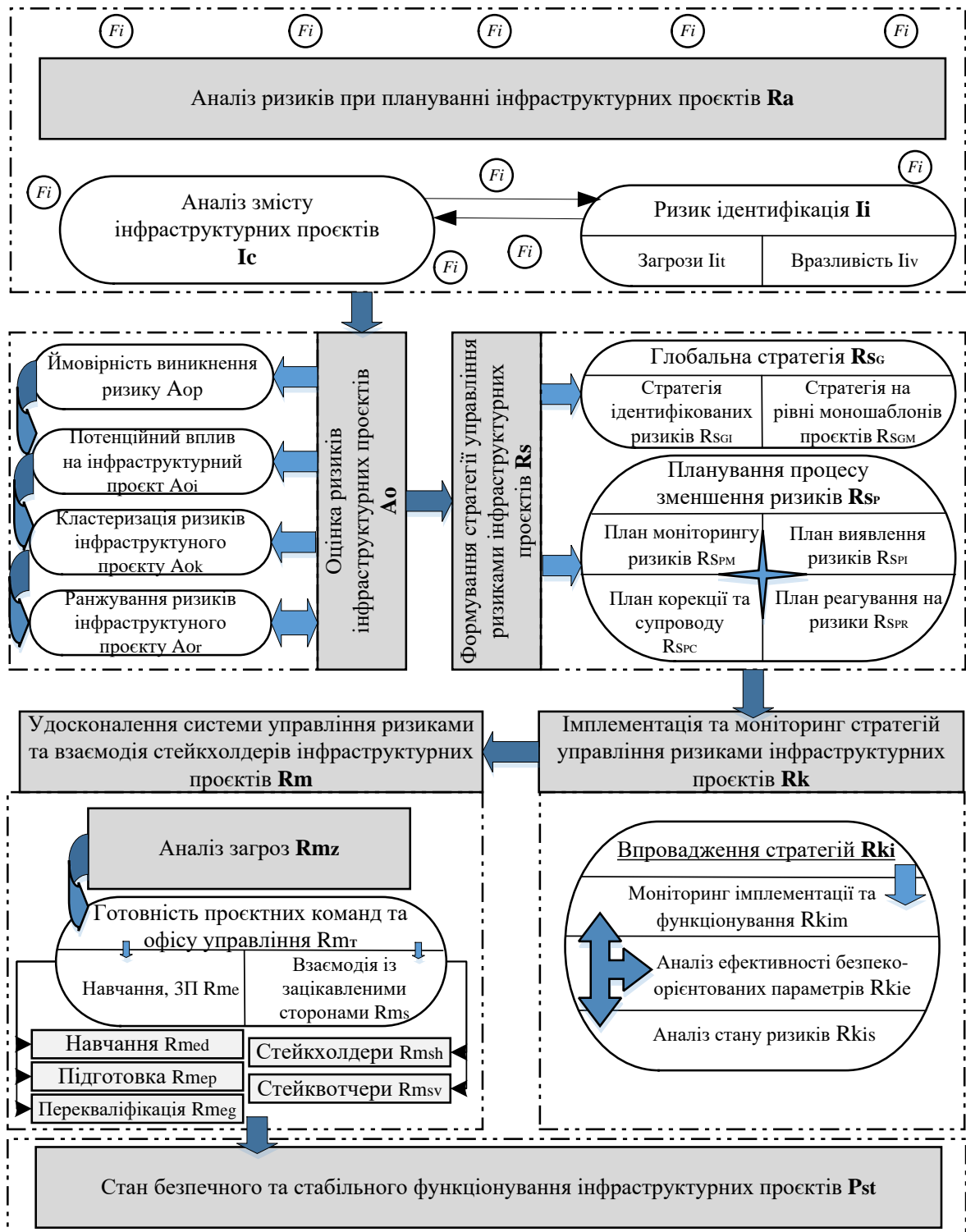


Рисунок 3.1 – Модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів

До стратегічних заходів забезпечення стійкості інфраструктури також належать організація систем резервного копіювання інформації, створення автономних джерел електроживлення, диверсифікація джерел постачання

ресурсів, розробка планів дій на випадок надзвичайних ситуацій та оперативного переміщення персоналу в разі загроз.

Процес управління такими ризиками може бути описаний відповідною формальною моделлю, що враховує взаємодію імовірності загроз та вразливості об'єктів критичної інфраструктури:

$$R_a = F_i; F_{in}; \dots F_{in+1} / \langle I_c; [I_i \in \langle I_{it} | I_{iv} \rangle] \rangle, \quad (3.2)$$

де I_c – аналіз змісту інфраструктурних проєктів; I_i – ризик-ідентифікації; I_{it} – загрози у проєкті; I_{iv} – вразливість проєкту; F_i – змінні складові динамічного зовнішнього та внутрішнього проєктного середовища.

Важливо відзначити, що аналіз ризиків є процесом, який потребує постійного оновлення та перегляду. Оскільки умови інфраструктурних проєктів, програм та портфелів проєктів змінюються, нові ризики виникають, а існуючі змінюють свою конфігурацію та дію у проєкті. Тому потрібно на постійній основі оцінювати та управляти ризиками. Для цього використовують різні методи, наприклад, методика FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) або PRA (Probabilistic Risk Assessment). Оцінка ризиків допомагає виявити найбільш значущі ризики та розробити ефективні заходи для їхнього зменшення або усунення. Процес управління блоком оцінки ризиків інфраструктурних проєктів опишемо виразом:

$$A_0 = \{A_{op}, A_{oi}, A_{ok}, A_{or}\}, \quad (3.3)$$

де A_{op} – ймовірність виникнення ризику; A_{oi} – потенційний вплив на інфраструктурний проєкт; A_{ok} – кластеризація ризиків інфраструктурного проєкту; A_{or} – ранжування ризиків інфраструктурних проєктів за індексними показниками.

Після ідентифікації та оцінки ризиків, важливим етапом є розробка постулатів тактичного управління ризиками інфраструктурних проєктів, що включає підблоки відповідності глобальній тактиці управління та процесу планування зменшення ризиків в інфраструктурних проєктах.

Формалізуємо блок виразом:

$$R_s = \left\{ \begin{array}{l} (R_{SG} \Rightarrow \{R_{SGI}, R_{SGM}\}) \\ \cap \\ \left(R_{SP} \Rightarrow \begin{bmatrix} R_{SPM} & \cdots & R_{SPI} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{SPC} & \cdots & R_{SPR} \end{bmatrix} \right) \end{array} \right\}, \quad (3.4)$$

де R_{SG} – глобальна тактика управління; R_{SGI} – тактика ідентифікованих ризиків; R_{SGM} – тактика на рівні моношаблонів інфраструктурних проєктів; R_{SP} – планування процесу зменшення ризиків; R_{SPM} – план моніторингу ризиків; R_{SPI} – план виявлення ризиків; R_{SPC} – план корекції та супроводу; R_{SPR} – план реагування на ризики.

Одним з основних кроків у тактичному управлінні ризиками є розробка плану контингентної дії. Цей план має містити список можливих непередбачуваних подій, що можуть вплинути на проєкт, та заходи, які необхідно буде прийняти у випадку їхнього виникнення. Також, важливо, відповідальність за ці заходи розподілити між усіма учасниками проєкту, програми чи портфелю проєктів і враховувати увесь життєвий цикл проєкту при аналізі ризиків. Оскільки ризики можуть бути різними на етапах проєкту, таких як планування, розробка, впровадження та експлуатація. Тому, аналіз ризиків повинен бути проведений на кожному етапі проєкту та за необхідності коригуватися.

Реалізація елементів тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів передбачає його подальшу

імплементацию та моніторинг тактичних підходів ризик менеджменту в процесі управління. Це дозволяє з однієї сторони застосовувати інструментарій тактичного управління, а з іншої – здійснювати моніторинг імплементации та функціонування, аналіз ефективності безпеко-орієнтованих параметрів та здійснювати повторний аналіз стану ризиків і їх тенденції до змін. Формально опишемо цей етап виразом:

$$R_k \Rightarrow R_{ki} \in \left\langle \begin{matrix} R_{kim} \\ R_{kie} \\ R_{kis} \end{matrix} \right\rangle, \quad (3.5)$$

де R_{ki} – імплементация тактичних підходів управління; R_{kim} – моніторинг імплементации та функціонування; R_{kie} – аналіз ефективності безпеко-орієнтованих параметрів; R_{kis} – аналіз стану ризиків.

На останньому етапі блоку функціонування моделі тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, на основі імплементации та моніторингу, здійснюється удосконалення тактики управління ризиками шляхом аналізу загроз. Цей етап забезпечується готовністю проєктних команд та офісу управління до оперативного реагування на виникаючі загрози, взаємодії із стейкхолдерами інфраструктурних проєктів, програм та портфелів проєктів, зокрема стейквотчерами, стейккіперами та стейксікерами. На основі цієї взаємодії, вивчається попередній результат застосування тактичного управління ризиками, що формує базу даних та базу знань результатів кризового тактичного управління, та, на основі проведення аналізу нових загроз, удосконалює підходи до їх застосування, адаптує моношаблони інфраструктурних проєктів, програм та портфелів проєктів на стадії їх планування, впровадження та функціонування в регіональному вимірі.

Опишемо функціонування цього блоку виразом:

$$R_m \Rightarrow \left| \begin{array}{l} R_{mz} \\ \uparrow \downarrow \\ R_{mt} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_{me} \in \langle R_{med} | R_{mep} | R_{meg} \rangle \\ R_{ms} \in \langle R_{msh} | R_{msv} \rangle \end{array} \right. \end{array} \right| \Rightarrow P_{st} \quad (3.6)$$

де R_m – удосконалення тактики управління ризиками та взаємодія стейкхолдерів інфраструктурних проєктів; R_{mz} – аналіз загроз; R_{mt} – готовність проєктних команд та офісу з управління інфраструктурними проєктами; R_{me} – навчання та підготовка членів команд інфраструктурних проєктів в безпеко-орієнтованих системах; R_{med} – навчання; R_{mep} – підготовка; R_{meg} – перекваліфікація; R_{ms} – взаємодія із зацікавленими сторонами; R_{msh} – стейкхолдери та стейксікери інфраструктурних проєктів; R_{msv} – стейквотчери та стейккіпери інфраструктурних проєктів; P_{st} – стан безпечного та стабільного функціонування інфраструктурних проєктів, програм та портфелів проєктів.

Функціонування усіх блоків моделі тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів є складним організаційно-планувальним та технічним процесом. Не зважаючи на складність, оперативне реагування на ризики та загрози шляхом застосування інструментарію та підходів тактичного управління ризиками показує свою перевагу, оскільки система не лише реагує на ризики, а й навчається та адаптує моношаблони інфраструктурних проєктів під проєктні особливості, їх комплексність, тип і продукт проєкту, та, забезпечує стан безпечного і стабільного функціонування інфраструктурних проєктів, програм та портфелів проєктів.

Запропонована модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах (рис. 3.1) є багатокомпонентною системою, що охоплює ключові аспекти аналізу, планування, реалізації та вдосконалення ризик-менеджменту. Її структура включає послідовні блоки: аналіз ризиків на етапі планування проєктів (R_a), розробку стратегії управління ризиками (R_s),

впровадження і моніторинг прийнятих стратегічних рішень (R_k), а також блок удосконалення системи взаємодії зі стейкхолдерами та підтримки гнучкості управління (R_m).

В основі моделі закладено системний підхід до оцінки ризиків, який дозволяє ідентифікувати можливі загрози, оцінити вразливість проектних рішень до зовнішніх і внутрішніх факторів, а також врахувати зміну безпекової ситуації під впливом сучасних викликів. Особлива увага приділяється аналізу гібридних загроз, зокрема військових ризиків, кібератак, техногенних і природних катастроф, що є актуальними у нинішніх умовах розвитку критичної інфраструктури.

Розроблена модель дозволяє проектним командам оперативно реагувати на зміну ситуації за рахунок тактичної гнучкості управлінських рішень, що забезпечує стійкість проектів у динамічному середовищі. Вона поєднує класичні інструменти проектного управління із сучасними аналітичними методами, зокрема кластеризацією ризиків, поглибленим аналізом готовності команд до антикризового реагування, інтеграцією стейкхолдерів у процес прийняття рішень та посиленням адаптаційних механізмів протягом усього життєвого циклу проектів.

Новизна представленої моделі полягає у комплексному об'єднанні тактичного рівня управління із засобами цифрової підтримки прийняття рішень, що дозволяє забезпечити оперативну трансформацію управлінських заходів під впливом кризових ситуацій у проектному середовищі. Такий підхід дає змогу формувати більш стійку архітектуру управління ризиками проектів розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах надзвичайних та військових ситуацій.

3.2. Концептуальна модель цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури

Реалізація проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури супроводжується динамічним проєктним середовищем, що обумовлює необхідність формування адаптивних систем управління змінами у зазначених проєктах. Запропонована концептуальна модель цифрового управління змінами інтегрує принципи цифрової трансформації в усі основні фази життєвого циклу проєкту та забезпечує системність прийняття управлінських рішень на основі актуальних даних у реальному часі.

Базовим елементом моделі є блок управління змінами, який функціонує як динамічна петля управлінського циклу. Основу становить безперервна послідовність взаємопов'язаних процесів: моніторинг змін, аналітика даних, формування прогнозних сценаріїв, прийняття управлінських рішень, реалізація заходів щодо адаптування дій до проєктного середовища і зворотний зв'язок з оцінкою ефективності змін.

Концептуальна модель цифрового управління змінами представлена на рисунку 3.2. Процес моніторингу змін забезпечується цифровими сенсорними мережами, супутниковим спостереженням, збором даних із соціальних мереж, публічних баз відкритих даних та спеціалізованих інформаційних систем. Аналітика змін здійснюється з використанням систем обробки великих даних (Big Data), когнітивних обчислень, машинного навчання та штучного інтелекту для виявлення закономірностей і побудови прогнозних моделей розвитку подій під час реалізації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Прийняття управлінських рішень ґрунтується на багатокритеріальних сценарних моделях, які інтегрують результати аналізу та формують оптимальні стратегії адаптації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури з урахуванням очікуваних ризиків, вартості адаптаційних заходів та рівня очікуваної ефективності. Реалізація заходів із адаптування дій до проєктного середовища передбачає оперативну зміну графіків реалізації проєктів,

коригування бюджетів та залучення ресурсів, оптимізацію конфігурації об'єктів критичної інфраструктури.

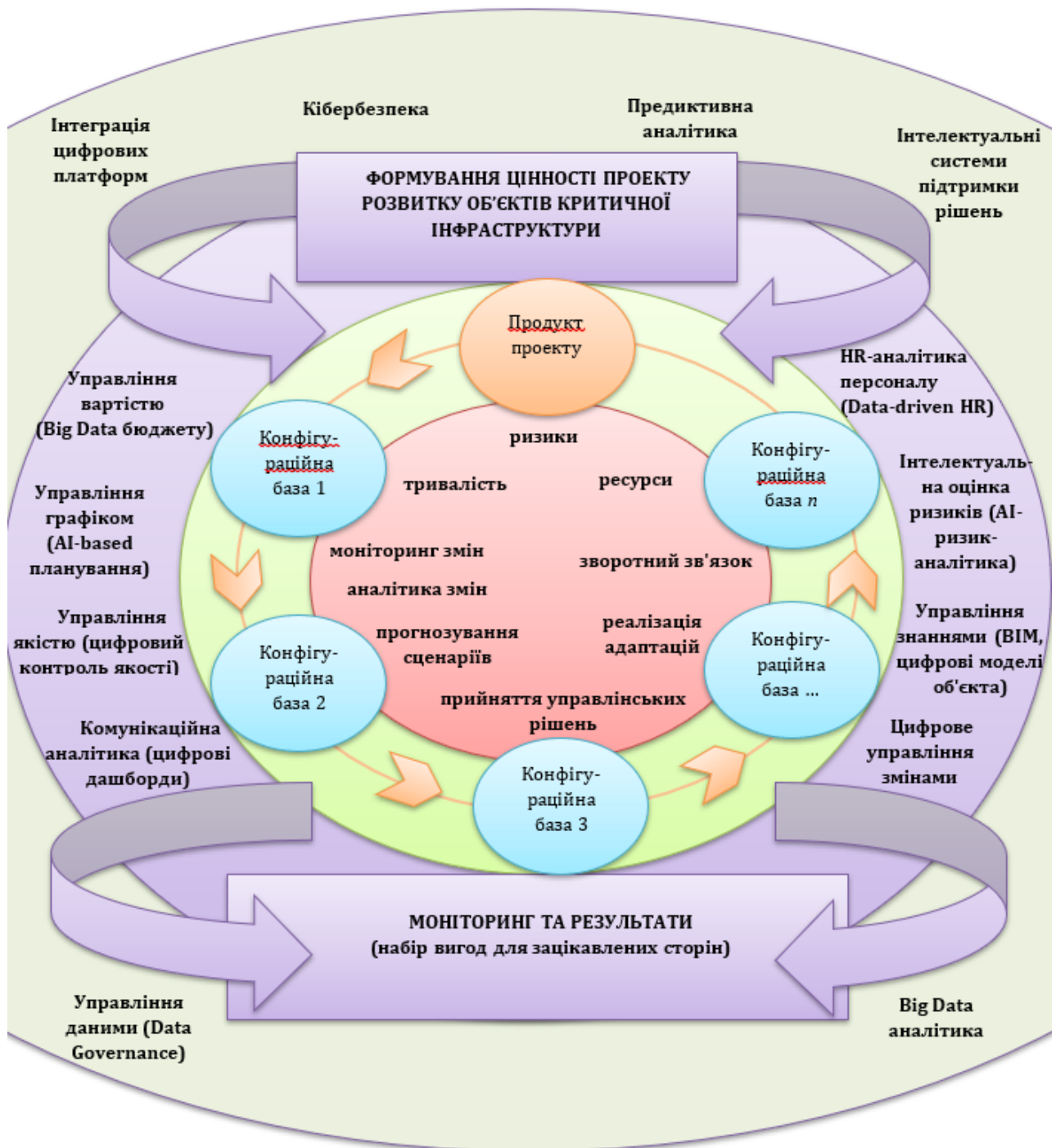


Рисунок 3.2 – Концептуальна модель цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури

Зворотний зв'язок включає систему оцінювання ефективності здійснених змін за допомогою інтегрованих КРІ-аналітичних платформ, які відслідковують досягнення стратегічних та оперативних цілей проєкту розвитку об'єктів

критичної інфраструктури, забезпечуючи основу для подальшого коригування управлінських рішень.

Запропонована модель формалізується у вигляді функціональної залежності рівня стійкості адаптації проєкту розвитку об'єктів критичної інфраструктури від цифрової зрілості системи управління та інтенсивності змін проєктного середовища:

$$A = A_0 + \delta D - \lambda \Delta E, \quad (3.7)$$

де A – інтегральна адаптаційна спроможність проєкту; A_0 – базова спроможність без цифровізації; D – індекс цифрової зрілості; ΔE – інтегральний рівень зовнішніх змін; δ , λ – вагові коефіцієнти впливу.

Особливістю запропонованої концептуальної моделі є її інтегрована цифрова архітектура, що поєднує традиційні процеси управління проєктами (вартість, час, якість, комунікації, ризики, персонал, предметна область, зміни тощо) із сучасними цифровими компонентами. У зовнішньому контурі моделі виокремлено ключові цифрові напрями – управління даними (Data Governance), Big Data аналітика, інтеграція цифрових платформ, інтелектуальні системи підтримки рішень, кібербезпека та предиктивна аналітика.

Цифрова архітектура моделі включає наступні блоки:

1. *Управління даними (Data Governance)* – побудова єдиних стандартів управління інформаційними потоками проєкту, забезпечення цілісності, актуальності та захищеності даних, що формалізується через функцію:

$$Q_D = f(C, V, I), \quad (3.8)$$

де Q_D – якість даних; C – повнота; V – вірогідність; I – інтегрованість.

2. *Big Data аналітика* – використання аналітичних платформ обробки великих обсягів різнорідних даних у режимі реального часу для виявлення трендів, прогнозних закономірностей та кореляцій ризиків:

$$R_f = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i(D_t), \quad (3.9)$$

де R_f – інтегральний прогнозований ризик; $P_i(D_t)$ – імовірність i -го ризику за даними в момент часу t ; w_i – ваговий коефіцієнт значущості.

3. *Інтеграція цифрових платформ* – створення єдиних інформаційних середовищ, які поєднують різноманітні системи управління проектом розвитку об'єктів критичної інфраструктури, модулі моніторингу, аналітики та документообігу.

4. *Інтелектуальні системи підтримки рішень* – застосування когнітивних алгоритмів та машинного навчання для автоматизованого формування варіантів управлінських рішень залежно від зміни сценаріїв розвитку проектного середовища.

5. *Кібербезпека* – створення багаторівневих систем захисту цифрових компонентів щодо процесів управління проектом розвитку об'єктів критичної інфраструктури, що забезпечується через формалізовану функцію стійкості цифрового захисту:

$$S_{cyber} = D_s - V_t, \quad (3.10)$$

де S_{cyber} – рівень кіберстійкості; D_s – щільність захисту; V_t – обсяг вразливостей.

Щільність захисту D_s – це узагальнений інтегральний показник рівня насиченості інформаційної системи проекту розвитку об'єктів критичної інфраструктури комплексними засобами кіберзахисту. Він характеризує не лише кількість впроваджених захисних механізмів, але й їх взаємну інтегрованість, ступінь покриття уразливих зон і якість взаємодії між різними рівнями захисту.

Отже, D_s це агрегований індикатор того, наскільки повно і глибоко в системі покриті всі потенційні точки ризику за допомогою сучасних цифрових механізмів захисту. Формально, його можна оцінювати за формулою:

$$D_s = \sum_{i=1}^n w_i \cdot C_i, \quad (3.11)$$

де C_i – ефективність окремого компонента захисту; w_i – ваговий коефіцієнт критичності компонента для даної інфраструктури; n – загальна кількість активних компонентів захисту.

б. *Предиктивна аналітика* – створення моделей прогнозування змін проектного середовища проекту розвитку об'єктів критичної інфраструктури для узгодження та адаптації попередньо створених планів.

У таблиці 3.1 наведено узагальнене співвідношення традиційних і цифрових компонентів моделі цифрового управління змінами у проектах розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Сформована таблиця 3.1 відображає зміни у підході до управління проектами розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах цифрової трансформації. Кожен із традиційних процесів управління поступово інтегрується із сучасними цифровими інструментами, формуючи нову адаптивну архітектуру управління змінами проектів розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Управління вартістю отримує суттєве підсилення завдяки застосуванню Big Data-аналітики витрат. Використання великих обсягів фінансових даних у поєднанні з алгоритмами прогнозного аналізу дозволяє не лише відслідковувати поточний стан бюджету, а й передбачати можливі фінансові ризики за рахунок сценарного прогнозування затрат при зміні зовнішнього проектного середовища.

Таблиця 3.1 – Взаємозв’язок між традиційними і цифровими компонентами моделі цифрового управління змінами у проєктах розвитку об’єктів критичної інфраструктури

Традиційні процеси управління	Цифрові компоненти трансформації
Управління вартістю	Big Data аналітика витрат, прогноз бюджету
Управління часом	Прогнозне планування графіків (AI-based)
Управління якістю	Цифрові контролінгові системи якості
Управління комунікаціями	Інтегровані дашборди взаємодії учасників
Управління ризиками	Машинне навчання для оцінки сценаріїв та ризиків
Управління персоналом	HR-аналітика компетенцій проєктної команди
Управління змінами	Інтелектуальні системи підтримки рішень

У процесах управління часом відбувається впровадження прогнозного планування графіків із застосуванням штучного інтелекту. Такі AI-based моделі дають змогу динамічно змінювати плани реалізації проєктів на основі фактичних змін у виконанні завдань, наявності ресурсів, виникнення затримок або зовнішніх загроз, що досить важливо для адаптивного управління змінами у проєктах розвитку об’єктів критичної інфраструктури.

Управління якістю трансформується в напрямі цифрових контролінгових систем, які забезпечують автоматизований моніторинг основних параметрів якості реалізації проєкту у реальному часі. Це дозволяє миттєво реагувати на відхилення, знижуючи ризик накопичення дефектів під час формування продукту у різних фазах життєвого циклу.

Управління комунікаціями набуває інтегрованого цифрового формату через дашборди взаємодії учасників проєкту. Такі інструменти забезпечують прозорість комунікацій, синхронізацію дій мультидисциплінарних команд та оперативний доступ до актуальної інформації, яка потрібна для реалізації проєктів розвитку об’єктів критичної інфраструктури.

Водночас процеси управління ризиками зазнають значної цифрової трансформації завдяки впровадженню машинного навчання. Алгоритми машинного навчання здатні виявляти складні міжфакторні залежності та формувати прогностичні сценарії розвитку ризиків, що дає змогу заздалегідь підготувати ефективні адаптаційні стратегії реалізації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Управління персоналом доповнюється HR-аналітикою, що дозволяє формувати гнучкі команди відповідно до компетенцій, навантаження, професійного досвіду та прогнозованої ефективності окремих виконавців у різних сценаріях розвитку проєкту розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Щодо управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури, то запропонованою моделлю цифрової трансформації передбачається принципово новий підхід, який стосується застосування інтелектуальних систем підтримки рішень. Вони забезпечують автоматизований підбір варіантів адаптаційних заходів залежно від характеру змін, динаміки зовнішнього проєктного середовища та ресурсних можливостей для реалізації проєкту розвитку об'єктів критичної інфраструктури.

Отже, чітко прослідковується системний характер інтеграції цифрових технологій у класичну модель управління проєктами. Кожен з традиційних процесів отримує цифрове розширення, що забезпечує гнучкість, прогнозованість та стійкість проєктного управління в умовах високої невизначеності проєктного середовища під час реалізації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури..

Запропонована модель дозволяє створити замкнену адаптивну систему управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури із врахуванням динаміки проєктного середовища, забезпечуючи підвищення стійкості проєктів до кризових ситуацій, оперативність реагування та стратегічну ефективність прийнятих управлінських рішень.

3.3. Модель формування стратегії проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій

Розвиток гідроелектростанцій, як складових критичної інфраструктури окремих територій, передбачає реалізацію складних багатofакторних проєктів, що супроводжуються високим рівнем невизначеності та ризиків. Для забезпечення ефективного управління такими проєктами доцільним є використання проектно-орієнтованого підходу до формування управлінської стратегії із вбудованим ризик-менеджментом [152]. В основі такої моделі лежить інтеграція класичних механізмів управління проєктами, методів кількісної оцінки ризиків та використання сучасних інформаційних технологій.

Формування стратегії проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій базується на побудові цільової функції, яка описує залежність ефективності реалізації проєкту від сукупності внутрішніх та зовнішніх параметрів. Загальний вигляд такої функції доцільно подати у вигляді:

$$S = \max[B(P, T, R) - C(F, R, E)], \quad (3.12)$$

де S – інтегральна оцінка стійкості проєкту; $B(P, T, R)$ – функція очікуваної вигоди від проєкту, що залежить від проєктних параметрів P , часових характеристик T та структури ризиків R ; $C(F, R, E)$ – функція сукупних витрат, що залежать від обсягів фінансування F , ризикових складових R та зовнішнього проектного середовища E .

Оцінка ризиків у процесі стратегічного планування базується на формалізації потенційних збитків у разі реалізації ризикових подій. Узагальнено таку залежність можна подати через функцію очікуваних втрат:

$$L = \sum_{i=1}^n p_i \cdot l_i, \quad (3.13)$$

де L – очікувані втрати; p_i – ймовірність реалізації i -ї небезпечної події; l_i – обсяг втрат при настанні i -ї події.

Запропонована модель передбачає формування багаторівневої системи управління проектами, що включає:

- стратегічний рівень прийняття рішень (визначення цілей розвитку;
- обґрунтування проектних портфелів);
- тактичний рівень планування (розробка сценаріїв впровадження);
- операційний рівень реалізації проектів (контроль виконання, оперативне реагування на відхилення).

Особливу роль у цій моделі відіграє інформаційно-аналітичний блок, у межах якого здійснюється обробка даних моніторингу, моделювання ризикових сценаріїв та прогнозування наслідків управлінських рішень.

Стан системи управління проектом розвитку гідроелектростанцій на будь-якому етапі розвитку можна представити як векторний простір параметрів:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}, \quad (3.14)$$

де x_j – значення j -го параметру системи управління проектом розвитку гідроелектростанцій (технічного, фінансового, організаційного чи екологічного характеру).

Динаміка зміни стану системи у часі описується системою рівнянь:

$$\frac{dX}{dt} = F(X, R, t), \quad (3.15)$$

де F – функція зміни стану проектного середовища з урахуванням впливу ризикових факторів R .

У процесі стратегічного моделювання особливо важливим є врахування сукупності взаємопов'язаних ризиків, що можуть мати як кумулятивний, так і

синергетичний ефект впливу на проєкт. З цією метою доцільно формувати матрицю інтегральних ризиків:

$$M_R = \|r_{ij}\|, \quad i, j = 1, 2, \dots, k, \quad (3.16)$$

де r_{ij} – коефіцієнт взаємного впливу ризиків i -ї та j -ї груп.

На основі вище викладеного створено модель формування стратегії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій, що забезпечує системний облік сукупних чинників впливу на проєктні рішення, дозволяє здійснювати прогнозування сценаріїв розвитку подій та оптимізацію ресурсного забезпечення проєкту у динамічних умовах зовнішнього середовища.

Проєктно-орієнтоване управління ризиками розвитку гідроелектростанцій передбачає побудову системної багаторівневої структури взаємодії основних суб'єктів управління, фінансового планування, аналітичної підтримки прийняття рішень та моніторингу ефективності реалізації проєктів. Запропонована модель дозволяє забезпечити цілісність управлінського процесу, починаючи від стратегічного планування розвитку гідроенергетичних об'єктів до оперативної адаптації до змін проєктного середовища та реагування на ризикові фактори (рис. 3.3). Аналітична характеристика моделі формування стратегії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій подана у табл. 3.2.

На першому рівні структури визначено основних суб'єктів проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій. До них віднесено операторів гідроелектростанцій, державні органи енергетики, служби надзвичайних ситуацій, екологічні організації, а також представників бізнесу та громадських об'єднань. Саме ці суб'єкти формують загальну нормативно-правову, організаційну та технологічну базу для функціонування проєктів розвитку гідроенергетичних об'єктів.

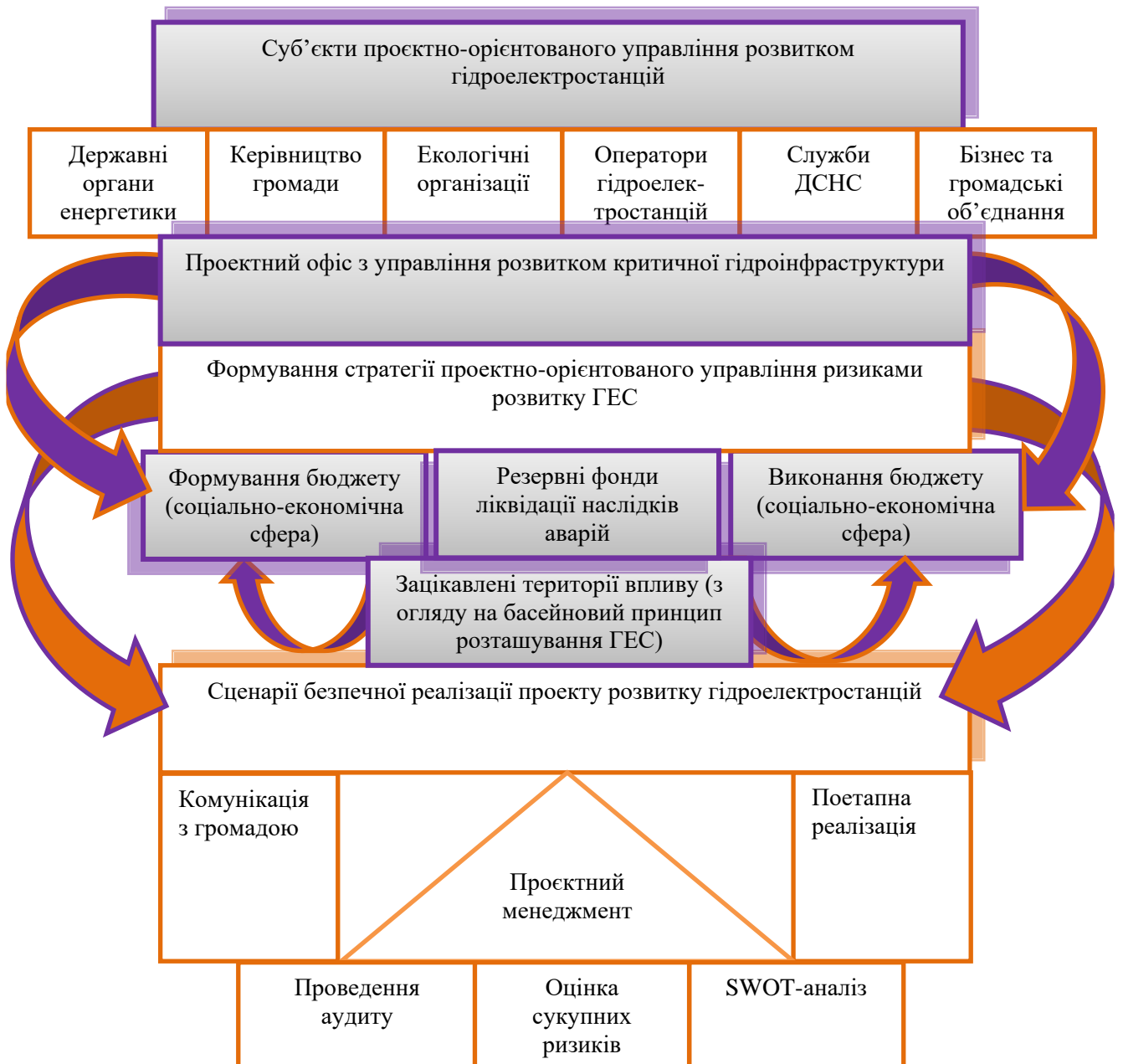


Рисунок 3.3 – Схема моделі формування стратегії проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій

Базовим координуючим органом виступає проектний офіс з управління розвитком критичної гідроінфраструктури, який забезпечує інтеграцію усіх зацікавлених сторін, координацію проектних ініціатив, моніторинг стану виконання проектів та оперативне реагування на відхилення від запланованих сценаріїв розвитку. Саме у межах функціонування проектного офісу формується стратегія проектно-орієнтованого управління ризиками, що

враховує специфіку критичної гідроінфраструктури та багаторівневу природу потенційних ризиків.

Таблиця 3.2 – Аналітична характеристика моделі формування стратегії проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій

Елемент моделі	Основна характеристика	Роль у системі
Стратегічний рівень управління		
Суб'єкти управління	Оператори ГЕС, державні органи енергетики, НС, екологічні організації	Формування нормативно-правових умов та організаційна координація
Проектний офіс	Координаційний центр управління проектами розвитку ГЕС	Інтеграція проектів, моніторинг, антикризове реагування
Формування бюджету	Включає планування резервів ліквідації наслідків аварій	Забезпечення фінансової стійкості проектів
Тактичний рівень управління		
Виконання бюджету	Реалізація фінансових програм розвитку	Контроль витрат і ресурсного забезпечення
Зацікавлені території впливу	Регіони, що зазнають впливу роботи ГЕС	Соціальна відповідальність, управління екологічними наслідками
Сценарії розвитку	Побудова варіантів реалізації проектів	Планування стійких траєкторій розвитку
Операційний рівень управління		
Комунікація з громадою	Постійний діалог із населенням	Забезпечення довіри та прийняття рішень з урахуванням думки громади
SWOT-аналіз, аудит, оцінка ризиків	Інструменти аналітичної підтримки	Визначення слабких місць та запобігання критичним помилкам

Наступним важливим елементом моделі є блок фінансового планування, який включає формування бюджету з урахуванням створення резервних фондів ліквідації наслідків аварій, а також виконання бюджету в межах визначених соціально-економічних програм розвитку. Забезпечення фінансової стабільності проєктів є досить важливим в умовах високої варіативності зовнішніх загроз та динамічних змін вартості ресурсів.

Інформаційно-аналітична частина моделі передбачає багатокomпонентну систему аналітики, яка включає комунікацію з громадськістю, проведення SWOT-аналізу, поетапну реалізацію проєктних рішень, аудит, а також спеціалізовану оцінку сукупних ризиків. Формування сценаріїв безпечної реалізації проєкту розвитку гідроелектростанцій здійснюється на основі математичного моделювання ризиків, побудови ймовірнісних сценаріїв та прогнозування можливих наслідків управлінських рішень.

Аналіз таблиці 3.2 дозволяє виокремити комплексний характер моделі формування стратегії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій. У моделі чітко структуровані основні функціональні блоки управління, що охоплюють як стратегічний, так і тактичний та операційний рівні. Визначена система суб'єктів забезпечує міждисциплінарну взаємодію, інтегруючи технічних операторів, державні структури, екологічні інституції та представників громадськості. Особливе місце посідає проєктний офіс, який виступає як ключовий центр координації, контролю та антикризового реагування.

Наявність бюджетних інструментів із закладеними резервами для ліквідації наслідків аварій демонструє пріоритет превентивного підходу до управління ризиками. Інформаційно-аналітичний блок моделі, що включає оцінку сукупних ризиків, SWOT-аналіз, аудит та комунікацію з громадою, створює основу для формування стійких та адаптивних сценаріїв розвитку проєктів гідроенергетики. Таким чином, модель забезпечує високий рівень системної збалансованості, що дозволяє мінімізувати ризики на всіх етапах життєвого циклу проєкту.

Таким чином, запропонована модель забезпечує комплексне проєктно-орієнтоване управління ризиками розвитку гідроелектростанцій, інтегруючи фінансову, організаційну, аналітичну та соціальну складові системи управління, що дозволяє суттєво знизити загальну ймовірність виникнення критичних відхилень у реалізації проєктів розвитку гідроелектростанцій.

3.4. Метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів

Підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах зовнішніх загроз, воєнного стану, кіберризиків та обмежених ресурсів вимагає не лише технічної модернізації, але й системної цифрової трансформації. Цифровізація дає змогу інтегрувати дані з різних джерел, формувати адаптивні системи управління, забезпечити проактивну ідентифікацію ризиків, моделювання сценаріїв та оптимізацію управлінських рішень.

Враховуючи виклики невизначеного проєктного середовища, зокрема наявність військових загроз, деструкцію логістики, кібератаки, обмеженість комунікацій, нами запропоновано метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури на основі цифровізації управлінських процесів. Метод дозволяє забезпечити системну адаптацію інфраструктурних об'єктів (зокрема гідроелектростанцій, насосних станцій, вузлів енергопостачання тощо) до умов ризику за допомогою цифрових платформ, сенсорних систем, алгоритмів аналізу даних та геоінформаційних засобів.

На відміну від існуючих методів управління стійкістю об'єктів критичної інфраструктури (через фізичне резервування, дублювання елементів, розосередження ресурсів), запропонований метод ґрунтується на моделі цифрової інтеграції, яка дозволяє не лише автоматизувати контроль, а й передбачати сценарії розвитку подій, адаптивно перерозподіляти ресурси в реальному часі. Запропонований метод забезпечує поєднання індексного

підходу до оцінки цифрової зрілості території та математичної моделі впливу цифровізації на ризик-фактори стійкості. Також вперше враховано сукупність рівнів цифрового впливу – об’єктового, територіального, інституційного.

Запропонований метод реалізується у вигляді послідовних етап, кожен із яких не лише логічно продовжує попередній, але й створює зворотні зв’язки для корегування управлінських рішень. Умовно процес цифровізації управлінських процесів можна представити як циклічно-покрокову модель, у якій результати кожного етапу впливають на управлінські рішення наступного, а деякі етапи передбачають зворотний вплив, тобто уточнення на основі моделювання або практичного впровадження.

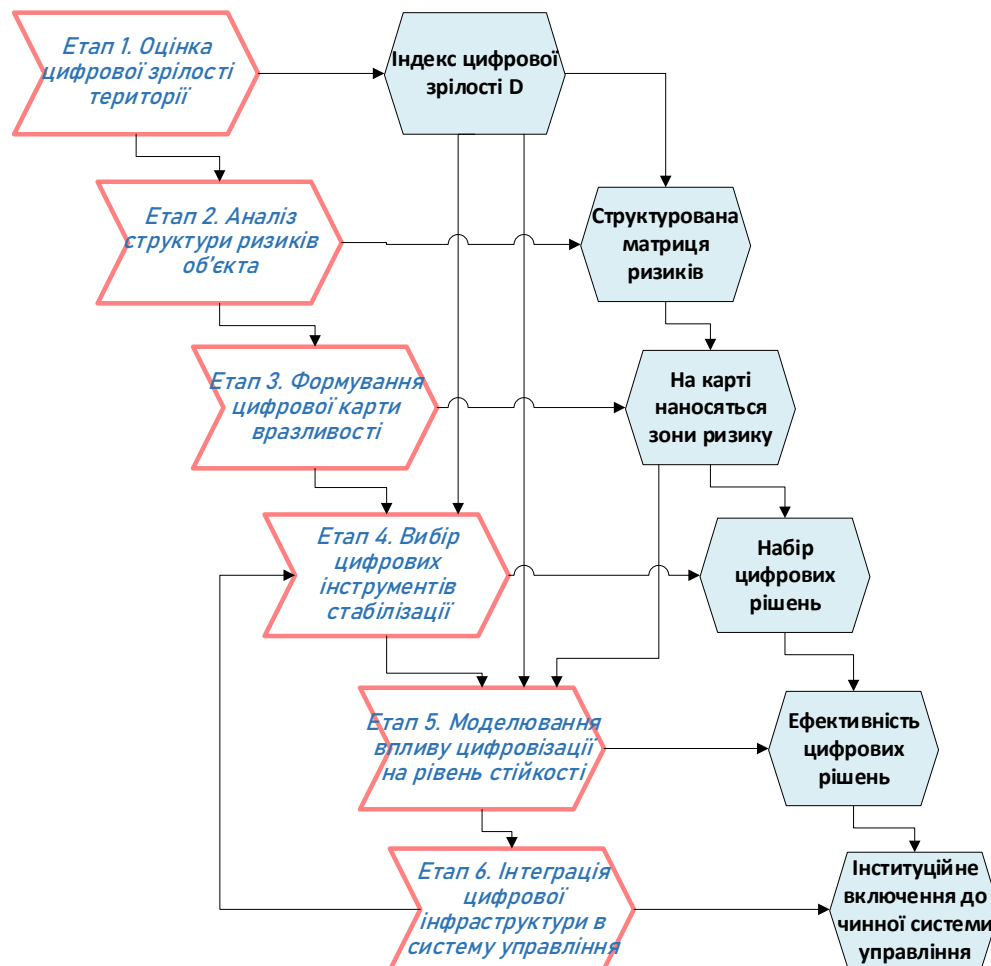


Рисунок 3.4 – Схема методу підвищення стійкості об’єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів

Схема запропонованого методу підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів представлена на рис. 3.4.

Етап 1. Оцінка цифрової зрілості території. Початковим етапом методу підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності є оцінка цифрової зрілості території. Цей етап слугує діагностичною основою для виявлення потенціалу регіону до цифрової трансформації систем управління критичною інфраструктурою. Визначення рівня цифрової зрілості дозволяє сформулювати межі допустимих управлінських втручань, зумовлених рівнем технічної та організаційної готовності об'єкта чи території.

Загальна цифрова спроможність описується індексом цифрової зрілості $D \in [0,1]$, який розраховується як зважене середнє нормалізованих показників:

$$D = \sum_{i=1}^n w_i \cdot d_i, \quad (3.17)$$

де d_i – нормоване значення i -го показника цифрового розвитку; w_i – вага i -го показника цифрового розвитку; n – загальна кількість оцінюваних показників.

Нормалізація кожного показника виконується за формулою:

$$d_i = \frac{x_i - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}, \quad (3.18)$$

де x_i – фактичне значення показника, x_i^{\min} , x_i^{\max} – межі інтервалу спостережень.

Для узагальнення результатів доцільно використовувати таблицю оцінки зрілості на основі ключових критеріїв (табл. 3.3).

При цьому слід дотримуватися умови:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad \forall i: w_i \in [0,1], \quad (3.19)$$

Таблиця 3.3 – Структура розрахунку індексу цифрової зрілості території

№	Показник цифрового розвитку	Позначення	Нормалізоване значення d_i	Вага w_i
1	Рівень автоматизації об'єктів інфраструктури	x_1	d_1	w_1
2	Наявність просторових (ГІС) систем моніторингу	x_2	d_2	w_2
3	Ступінь інтеграції ІТ в управлінські рішення	x_3	d_3	w_3
4	Кадрова забезпеченість цифрових трансформацій	x_4	d_4	w_4
5	Частка бюджету на цифрові інновації	x_5	d_5	w_5

Отримане значення D дозволяє перейти до наступних етапів методу. Значення індексу цифрової зрілості D безпосередньо впливає на етап 4, де здійснюється вибір допустимих цифрових інструментів стабілізації ризиків. Зокрема, за низької цифрової зрілості (наприклад, $D < 0.3$) не рекомендується впровадження складних аналітичних або автоматизованих систем, тоді як за високого значення $D \rightarrow 1$ доцільною є інтеграція розподілених SCADA, IoT або GIS-рішень (рис. 3.5).

Схема, яка показана на рис. 3.5 передбачає вибір типу обраних інструментів (від базових до комплексних) залежно від кількісного значення D . При цьому прийнято, що управлінські рішення лежать у трьох умовних зонах:

- $D < 0.3$ – базові рішення;
- $0.3 \leq D < 0.6$ – модульні цифрові платформи;
- $D \geq 0.6$ – комплексні інтегровані рішення.

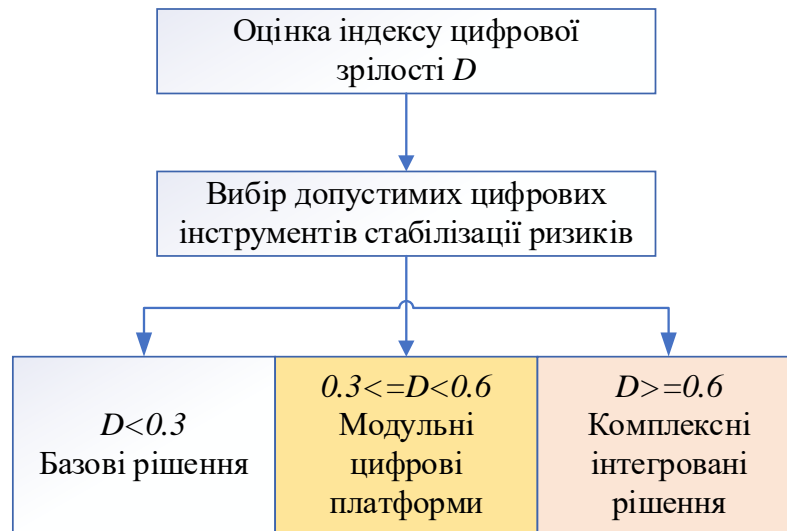


Рисунок 3.5 – Схема логічної залежності між оцінкою цифрової зрілості та вибором інструментів стабілізації

Етап 2. Аналіз структури ризиків об'єкта. Другим етапом методу підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури є аналіз структури ризиків. Він забезпечує систематичне виявлення та оцінювання сукупності загроз, які можуть порушити функціонування об'єкта критичної інфраструктури в умовах невизначеності. У межах цього етапу здійснюється ідентифікація основних типів ризиків, що класифікуються за природою виникнення – техногенні, природні, кібернетичні та соціально-воєнні. Для кожного з типів загроз оцінюються параметри ймовірності настання події, можливий масштаб шкоди та просторове охоплення впливу.

Кількісна оцінка ризиків виконується на основі класичної формули ризику, яка визначає часткове значення ризику як добуток ймовірності реалізації загрози на очікуваний розмір потенційних втрат. Для i -того ризику ця величина розраховується за формулою:

$$R_i = P_i \cdot L_i, \quad (3.20)$$

де R_i – частковий ризик; $P_i \in [0,1]$ – ймовірність настання події; L_i – величина можливих втрат у ресурсному або грошовому вираженні.

Значення P_i та L_i можуть бути як розрахованими аналітично, так і отриманими експертним шляхом.

Сукупність усіх часткових ризиків дозволяє сформувавши інтегральну оцінку базового ризику об'єкта R_0 , яка визначається як сума всіх оцінених компонентів:

$$R_0 = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot L_i, \quad (3.21)$$

де n – кількість ідентифікованих загроз, характерних для об'єкта на досліджуваній території.

Формула (3.21) дозволяє оцінити рівень сумарної загрози для об'єкта критичної інфраструктури, який у подальшому використовується як вихідна змінна при моделюванні його стійкості.

Вся отримана інформація структурується у вигляді аналітичної таблиці 3.4 з розділенням за типами ризиків, їх параметрами та величиною часткового впливу.

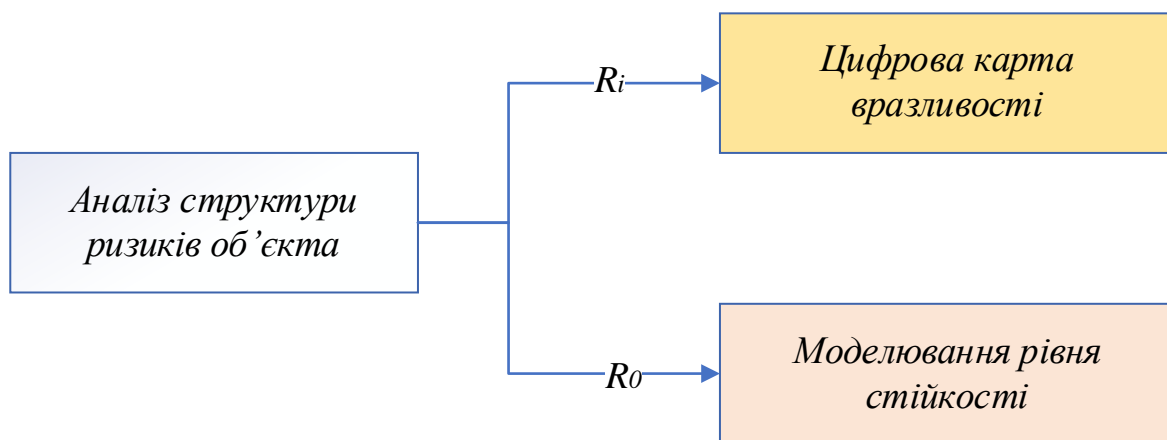
Таблиця 3.4 – Структура оцінювання ризиків об'єкта критичної інфраструктури

№	Група ризику	Позначення	Ймовірність події P_i	Потенційна шкода L_i	Частковий ризик R_i
1	Техногенні	R_1	P_1	L_1	$R_1 = P_1 \cdot L_1$
2	Природні	R_2	P_2	L_2	$R_2 = P_2 \cdot L_2$
3	Кіберзагрози	R_3	P_3	L_3	$R_3 = P_3 \cdot L_3$
4	Соціально-воєнні	R_4	P_4	L_4	$R_4 = P_4 \cdot L_4$
Разом (базовий ризик)					$R_0 = \sum R_i$

Після розрахунку матриці ризиків формується узагальнене значення R_0 , яке виступає одним із ключових входів у подальші етапи методу. По-перше, значення кожного часткового ризику R_i , що має територіальну прив'язку, передається на третій етап, де формується цифрова карта вразливості об'єкта або регіону.

Прив'язка до просторових координат дозволяє здійснити інтеграцію даних у геоінформаційну систему. По-друге, базове значення R_0 слугує входом до математичної моделі розрахунку рівня стійкості системи, яка реалізується в межах етапу 5.

На рисунку 3.6 відображено логічну схему, де блок «Аналіз структури ризиків» розгалужується у два напрямки – до блоку «Цифрова карта вразливості» (етап 3), куди передаються часткові ризики R_i , та до блоку «Моделювання рівня стійкості» (етап 5), у який передається базовий ризик R_0 .



Рисунк 3.6 – Взаємозв'язок етапу аналізу ризиків із наступними процесами методу

Таким чином, етап аналізу структури ризиків виконує роль аналітичної основи для просторового планування цифрових інтервенцій та для моделювання ефективності цифровізації як інструменту стабілізації. Його якісне проведення забезпечує обґрунтованість подальших управлінських рішень та визначає пріоритетність застосування стабілізаційних заходів у рамках обмежених ресурсів.

Етап 3. Формування цифрової карти вразливості. Формування цифрової карти вразливості є основним аналітичним етапом, що забезпечує просторову візуалізацію сукупності ідентифікованих ризиків, встановлення їх просторових меж та виявлення критичних зон впливу. Така карта відіграє роль інформаційної основи для вибору стабілізаційних цифрових рішень і подальшої оптимізації управління ризиками на рівні об'єкта критичної інфраструктури або територіальної одиниці. Етап ґрунтується на інтеграції даних, отриманих із результатів аналізу структури ризиків (етап 2), у геоінформаційне середовище з подальшим багатошаровим аналізом.

Цифрова карта вразливості містить сукупність просторових шарів, які відповідають джерелам ризику, зоні впливу, інтенсивності потенційного впливу, наявним інфраструктурним об'єктам і засобам реагування. Для кожної точки території (наприклад, осередку карти у вигляді сіткового вузла або пікселя) обчислюється інтегральна функція вразливості, яка є комбінацією оцінених ризиків, відстані до джерела загрози, щільності навантаження та критичності об'єктів.

Оцінка просторової вразливості в точці (x, y) здійснюється за допомогою функції:

$$V(x, y) = \sum_{i=1}^n R_i \cdot f_i(x, y) \cdot C_i, \quad (3.22)$$

де R_i – часткове значення i -го ризику, отримане на попередньому етапі; $f_i(x, y) \in [0, 1]$ – просторово-розподільча функція впливу i -го ризику на точку (x, y) ; C_i – коефіцієнт критичності (значущості) інфраструктурного об'єкта в зоні впливу i -го ризику; n – кількість актуальних ризиків для даної території.

Функція $f_i(x, y)$ зазвичай описує градієнт зниження впливу ризику із віддаленням від його джерела. Вона може мати форму:

$$f_i(x, y) = \exp\left(-\frac{d_i(x, y)}{\lambda_i}\right), \quad (3.23)$$

де $d_i(x, y)$ – евклідова відстань від точки (x, y) до джерела i -го ризику; λ_i – параметр просторового загасання дії ризику (порогова дистанція впливу).

Таблиця 3.5 – Типи просторових шарів цифрової карти вразливості

Шар (рівень)	Змістова характеристика	Тип даних	Джерело
S_1	Розташування критичних об'єктів	Точкові об'єкти	OSM, відомчі ГІС
S_2	Просторова інтенсивність ризиків $f_i(x, y)$	Растрова сітка	Результати етапу 2
S_3	Площі охоплення служб реагування	Буферні зони	Дані ДСНС / ЦОВ
S_4	Межі адміністративних одиниць	Полігони	Кадастрові реєстри

Побудова карти виконується через інтеграцію декількох шарів просторових даних, з-поміж яких:

- карта розміщення об'єктів критичної інфраструктури (ГЕС, підстанції, насосні станції);
- локалізація джерел ризику (природних або антропогенних);
- розподіл зон потенційної небезпеки;
- розміщення служб реагування або елементів стабілізації.

На основі інтегрального шару вразливості формується цифрова модель, що подає карту з градацією рівня потенційної небезпеки для кожної з точок (або зон). Значення вразливості $V(x, y)$ розподіляється за шкалою: низька, середня, висока, критична. Відповідно до цих рівнів, на наступному етапі здійснюється вибір стабілізаційних інструментів, адаптованих до типу й просторового розміщення вразливостей.

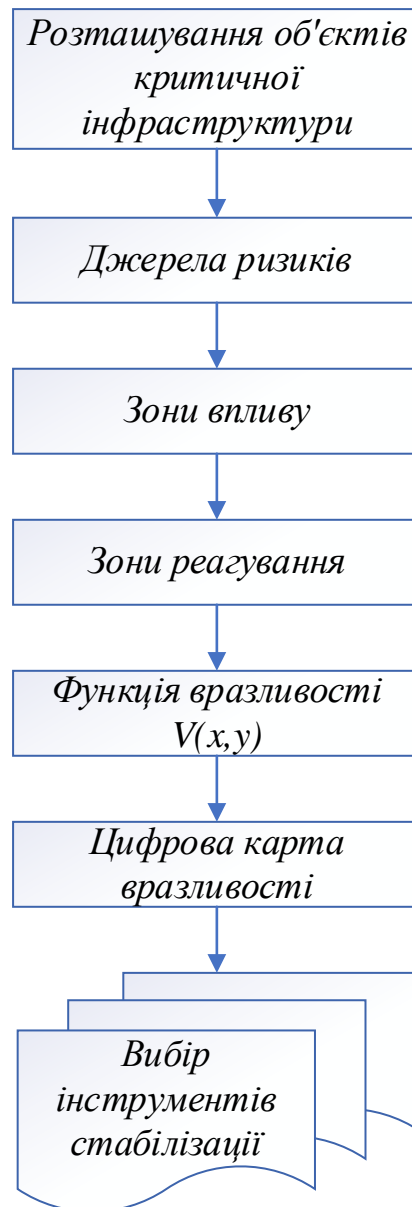


Рисунок 3.7 – Структурна схема формування цифрової карти вразливості

На схемі (рис. 3.7) зображено багатошарову структуру цифрової карти, де кожен просторовий шар (розташування об'єктів, джерела ризиків, зони впливу, зони реагування) інтегрується у функцію вразливості $V(x,y)$. Вихідний шар передається як вхід на наступний етап – вибір інструментів стабілізації.

Зміст карти цифрової вразливості забезпечує детальне розуміння просторових загроз і дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо типу, місця й масштабу застосування цифрових технологій для підвищення стійкості інфраструктурного об'єкта. Етап формування карти є зв'язувальним

компонентом між оцінкою ризиків та моделюванням цифрових рішень і сприяє практичній реалізації концепції просторово-адаптивного управління.

Етап 4. Вибір цифрових інструментів стабілізації. Цей етап методу підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури передбачає раціональний вибір цифрових інструментів, які можуть забезпечити зниження вразливості системи до виявлених ризиків. Вибір базується на результатах трьох попередніх етапів – значенні індексу цифрової зрілості території, структурованій матриці ризиків та сформованій цифровій карті вразливості. Його мета полягає в тому, щоб сформувавши обґрунтований набір цифрових рішень, інтеграція яких дозволить знизити вплив імовірних загроз, підвищити адаптивність об'єкта та забезпечити прозорість і швидкодію управлінських процесів.

Формалізація цього етапу передбачає побудову множини цифрових інструментів \mathcal{T} , кожен з яких характеризується певним профілем ефективності δ_j , залежним від типу ризику, рівня цифрової зрілості та географічного розміщення. Цифровий інструмент $T_j \in \mathcal{T}$ вважається доцільним для впровадження, якщо виконується така умова:

$$\delta_j = \phi_j(D, R_0, V(x, y)) \geq \delta_{\min}, \quad (3.24)$$

де ϕ_j – функція відповідності інструмента умовам території; D – індекс цифрової зрілості території; R_0 – базовий ризик об'єкта; $V(x, y)$ – значення вразливості на карті в конкретній точці; δ_{\min} – мінімально допустимий рівень ефективності для прийняття управлінського рішення про впровадження.

Результатом етапу є формування інтегрованої таблиці 3.6, яка відображає зв'язок між рівнем цифрової спроможності, видом ризику і придатністю цифрових технологій.

Таблиця 3.6 – Матриця вибору цифрових інструментів стабілізації

№	Цифровий інструмент	Позначення	Залежність від D	Залежність від R_i	Придатність δ_j
1	Система моніторингу (SCADA)	T_1	Висока	Висока	$\phi_1(D, R_1, V)$
2	Геоінформаційна платформа	T_2	Середня	Висока	$\phi_2(D, R_2, V)$
3	Мобільні сповіщення	T_3	Низька	Середня	$\phi_3(D, R_3, V)$
4	Відкриті дані	T_4	Середня	Середня	$\phi_4(D, R_4, V)$
...

Після обчислення значень δ_j виконується вибір такої підмножини $T' \subset T$, яка задовольняє критеріям досяжності, ефективності та відповідності ресурсу реалізації. Ці інструменти передаються до етапу 5 для математичного моделювання впливу цифровізації на інтегральну стійкість об'єкта.

У структурі методу передбачено наявність зворотного зв'язку – якщо під час наступного етапу моделювання виявляється, що впровадження обраного набору інструментів не забезпечує досягнення бажаного рівня стійкості S , тоді система повертається на поточний етап для перегляду параметрів вибору. Цей процес забезпечує реалізацію ітеративної логіки, що дозволяє адаптувати перелік інструментів під змінені умови чи обмеження.

Таким чином, четвертий етап методу виконує функцію перетворення аналітичних оцінок ризику й цифрової готовності у конкретні управлінські рішення щодо впровадження технологій. Його логіка базується на функціональному зв'язку між рівнем вразливості, ризиком і цифровою спроможністю, що дозволяє уникнути невиправданого впровадження інструментів або недостатнього цифрового захисту об'єктів критичної інфраструктури.

Етап 5. Моделювання впливу цифровізації на рівень стійкості. На цьому етапі здійснюється інтегральне моделювання впливу цифрових інтервенцій на

рівень стійкості об'єкта критичної інфраструктури. Мета етапу полягає у кількісному обґрунтуванні доцільності впровадження конкретного набору цифрових рішень, з урахуванням початкових характеристик системи, рівня цифрової зрілості території та загального ризикового фону. Результатом моделювання є величина узагальненого показника стійкості, який використовується для прийняття управлінського рішення щодо подальших дій.

Модель розрахунку базується на припущенні, що рівень стійкості S є функцією трьох змінних:

- початкового рівня стійкості об'єкта без цифровізації S_0 ;
- індексу цифрової зрілості території D ;
- базового інтегрального ризику R_0 , оціненого на попередніх етапах.

Розрахунок здійснюється за формулою:

$$S = S_0 + \beta \cdot D - \gamma \cdot R_0, \quad (3.25)$$

де $S \in [0,1]$ – інтегральна оцінка стійкості після цифровізації; $\beta \in \mathbb{R}_+$ – коефіцієнт впливу цифровізації на підвищення стійкості; $\gamma \in \mathbb{R}_+$ – коефіцієнт негативного впливу ризику на стійкість.

Параметри β і γ можуть встановлюватися аналітично або емпірично залежно від типу об'єкта, сфери його функціонування та чутливості до ризиків і цифрових змін. Результуюча функція має лінійно-параметричну форму, яка дозволяє здійснювати чітке порівняння рівнів стійкості за різних умов впровадження цифрових інструментів.

Модель дозволяє здійснити перевірку, чи забезпечує сформований набір цифрових рішень досягнення необхідного рівня стійкості. Якщо розраховане значення S не задовольняє вимогам проєкту або системи безпеки, виконується повернення до етапу 4, де переглядається склад обраних цифрових інструментів. Такий зворотний зв'язок реалізує адаптивну властивість моделі, яка дозволяє ітеративно покращувати параметри цифрової трансформації до моменту досягнення цільової стійкості.

Таблиця 3.7 – Пояснення змінних у моделі оцінки стійкості

Позначення	Назва параметра	Одиниця виміру	Діапазон значень
S	Інтегральна стійкість	Умовні одиниці (0–1)	[0,1]
S_0	Початковий рівень стійкості	Умовні одиниці	[0,1]
D	Індекс цифрової зрілості	Безрозмірна величина	[0,1]
R_0	Інтегральний ризик	Умовні одиниці	[0,1]
β	Коефіцієнт ефективності цифровізації	Умовні одиниці/одиниця	$\beta > 0$
γ	Коефіцієнт впливу ризику	Умовні одиниці/одиниця	$\gamma > 0$

Етап моделювання виступає критичним для забезпечення обґрунтованого впровадження цифрових технологій та дає змогу уникнути хибних інвестиційних рішень, коли витрати на цифровізацію не дають відповідного приросту у стійкості системи.

Етап 6. Інтеграція цифрової інфраструктури в систему управління є завершальним у методі підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності. На цьому етапі здійснюється не лише фізичне впровадження цифрових компонентів (датчики, сервери, програмні модулі), але й адаптація існуючих управлінських структур до нових умов функціонування.

У структурному плані інтеграція охоплює такі компоненти:

- канали передачі даних (мережі, бездротові протоколи);
- платформи збору, обробки та візуалізації даних;

– елементи управління (інтерфейси диспетчерських центрів, мобільні додатки для оповіщення);

– нормативно-регламентні механізми взаємодії між об'єктами управління та цифровою інфраструктурою.

З формальної точки зору, оцінку якості інтеграції можна подати через функціонал:

$$I = \delta(D_s, D_c) + \epsilon(R_p), \quad (3.26)$$

де I – інтегральний індекс інтеграції; D_s – структура системи управління; D_c – структура цифрової інфраструктури; δ – функція відповідності (наприклад, на основі порівняння матриць сумісності); R_p – рівень процедурної регламентованості процесів реагування; ϵ – коефіцієнт адаптивності нормативних протоколів.

У разі низького значення I , необхідно здійснити корекцію – повернення до етапів вибору цифрових інструментів (етап 4) або моделювання (етап 5) для доопрацювання відповідності рішень умовам функціонування.

У таблиці 3.8 наведено типову матрицю відповідності цифрової та управлінської структур.

Представлена таблиця 3.8 свідчить, що цифрова інфраструктура потребує чіткої координації між технічними можливостями та організаційною структурою. Ефективність інтеграції залежить не лише від наявності обладнання, а й від налагоджених каналів комунікації, регламентів обміну даними та політики доступу. Сильним аспектом є багаторівнева структура управління (об'єкт критичної інфраструктури – громада – державні служби), що забезпечує як локальну реакцію, так і стратегічну координацію. Водночас необхідною умовою залишається забезпечення сумісності цифрових платформ та готовність відповідних підрозділів до роботи в режимі інформаційного обміну.

Таблиця 3.8 – Типова матриця відповідності цифрової та управлінської структур

Компонент цифрової інфраструктури	Відповідальний підрозділ	Протокол взаємодії	Інтервал оновлення	Рівень доступу
SCADA-моніторинг	Оператор об'єкта	API / MQTT	10 сек	Повний
Мобільне оповіщення	Органи місцевої влади	SMS / AppAlert	1 хв	Обмежений
Панель аналітики ризиків	ДСНС / Штаб реагування	HTTPS / VPN	5 хв	Повний
Хмарне сховище телеметрії	ІТ-служба	SFTP / TLS	Постійно	Захищений

Запропонований метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури передбачає виконання 6 послідовних етапів, якими забезпечується логічний перехід від оцінки цифрової зрілості території до інтеграції цифрових рішень у систему управління проектами розвитку об'єктів критичної інфраструктури. Новизна методу полягає в поєднанні просторового аналізу ризиків з адаптивним вибором цифрових інструментів стабілізації, що дає змогу не лише виявляти вразливості, а й кількісно оцінювати ефективність впроваджених рішень. Метод передбачає ітеративний підхід, який дозволяє оперативно коригувати управлінські рішення у випадку низької ефективності, що особливо важливо в умовах динамічного середовища та високої невизначеності.

Висновки до розділу 3

1. Запропонована модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проектах базується на використанні системного підходу до ідентифікації, оцінки та розроблення реакцій на ризики з урахуванням сучасних гібридних загроз і динамічного проектного середовища. Вона поєднує тактичне

управління з цифровими інструментами підтримки прийняття рішень, забезпечує гнучке та оперативне реагування на динамічні зміни проєктного середовища, що лежить в основі ефективного ризик-менеджменту в умовах невизначеності. Це забезпечує інтеграцію цифрових рішень у тактичний рівень управління інфраструктурними проєктами, що дає можливість підвищити стійкість об'єктів до кризових та воєнних впливів.

2. Розроблена концептуальна модель цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури базується на поєднанні цифрових технологій з класичними процесами управління, що забезпечує цілісне охоплення всіх етапів адаптації інфраструктурних проєктів до динамічного середовища. На відміну від існуючих моделей дозволяє вчасно реагувати на зміни проєктного середовища, знижувати вплив ризиків і підвищувати ефективність реалізації проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури навіть у складних умовах невизначеності.

3. Запропонована модель формування стратегії управління ризиками у проєктах розвитку гідроелектростанцій передбачає використання цілісної проєктно-орієнтованої системи управління, що поєднує стратегічне планування, аналітичну підтримку та адаптивне реагування на загрози. На відміну від існуючих моделей дозволяє виконати інтеграцію різних управлінських рівнів і взаємодії основних стейкхолдерів, що лежить в основі зменшення ризиків реалізації проєктів, підвищення прозорості процесів і забезпечення стійкого розвитку гідроелектростанцій в умовах невизначеності.

4. Розроблений метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів передбачає системне виконання шести етапів, які забезпечують цілісний і гнучкий підхід до підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури за умов невизначеності, поєднання цифрових інструментів із просторовим аналізом ризиків, що дозволяє не лише локалізувати вразливі зони, але й адаптивно реагувати на загрози в режимі реального часу, що робить її особливо ефективною в динамічному та кризовому проєктному середовищі.

Розділ 4

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ НА ПРИКЛАДІ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

4.1. Алгоритм та система підтримки прийняття рішень для тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах

У сучасних умовах проєктної діяльності, пов'язаної із розвитком та відновленням об'єктів критичної інфраструктури, значне місце займають інструменти, які дозволяють забезпечити своєчасне реагування на динамічні ризики в процесі прийняття управлінських рішень. З огляду на складність ризикових профілів, актуальною є потреба у розробці алгоритму та системи підтримки прийняття рішень (СППР), які поєднують аналітичні розрахунки з інтерактивними інтерфейсами для користувачів.

На основі запропонованої моделі тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах (п. 3.1) нами розроблено алгоритм (рис. 4.1) тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах. Запропонований алгоритм передбачає виконання 10 кроків.

Першим кроком алгоритму є початок роботи системи. На цьому етапі активується графічний інтерфейс користувача, через який користувач вносить вхідні дані для конкретного інфраструктурного проєкту. До базових параметрів, що вводяться, належать: назва проєкту, його категорія, фінансові характеристики, тривалість, географічне розташування, поточний безпековий стан регіону, рівень забезпеченості ресурсами, рівень підготовки персоналу, залученість стейкхолдерів та оцінки ймовірності виникнення груп ризиків.

На другому етапі система здійснює перевірку повноти заповнення усіх полів введених даних, а також контролює правильність розмірності числових показників. Значення для параметрів ймовірностей ризиків мають лежати в інтервалі від 0 до 1. У разі виявлення помилок користувач отримує повідомлення з рекомендацією коригування введених даних. Лише після

підтвердження коректності інформації відбувається перехід до наступного розрахункового блоку.

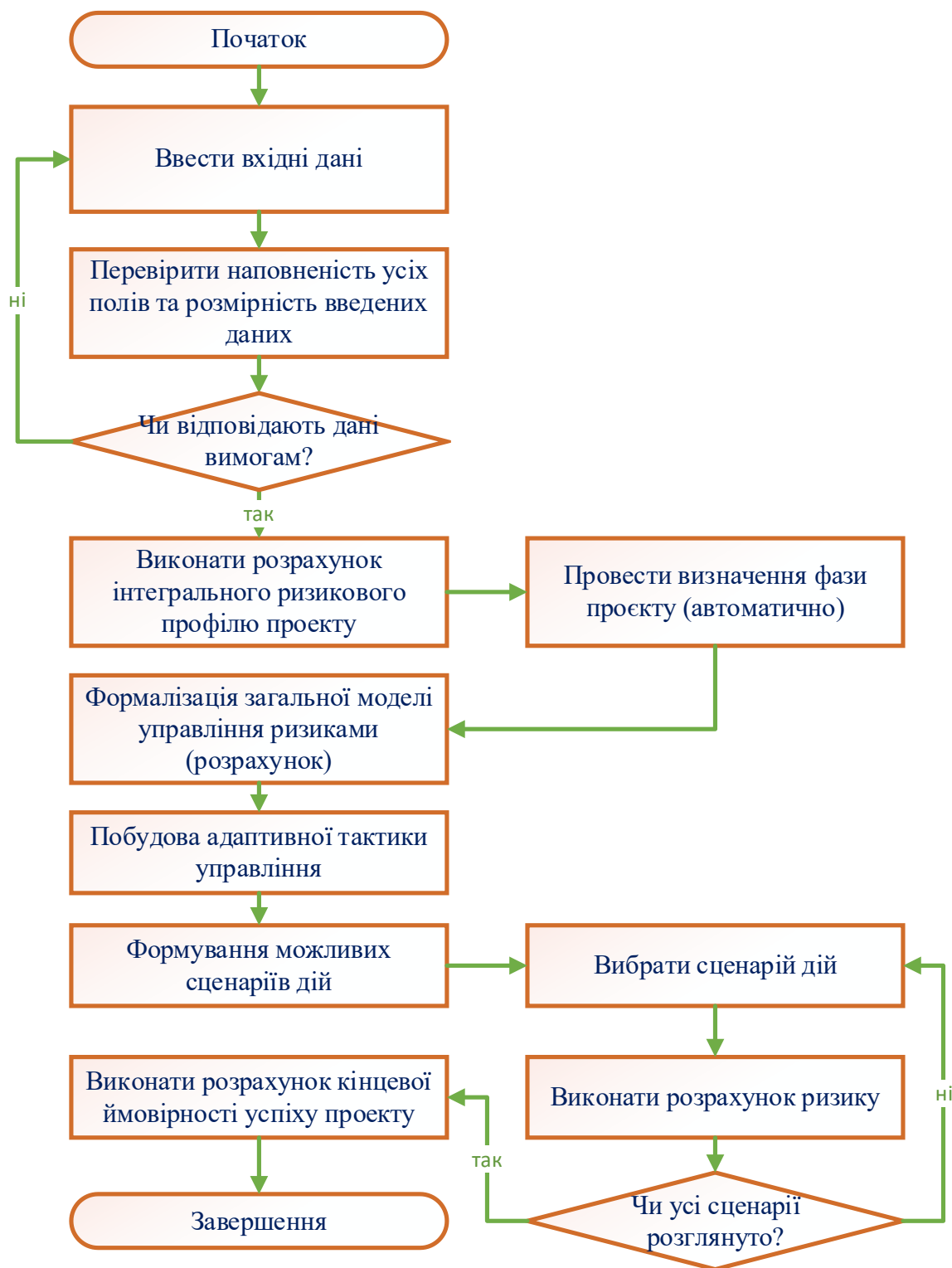


Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритму тактичного управління ризиками в інфраструктурних проектах

Третім кроком є обчислення інтегрального ризикового профілю проєкту, що здійснюється за формулою:

$$R_{int} = \sum_{i=1}^n W_i \cdot R_i, \quad (4.1)$$

де R_i – значення кожного введеного ризику; W_i – вагові коефіцієнти важливості ризиків.

В разі відсутності індивідуальних вагових коефіцієнтів, використовується рівномірний розподіл ваг.

Четвертий етап передбачає автоматичне визначення фази життєвого циклу проєкту на основі наданих вихідних характеристик. Система класифікує фазу до однієї з наступних груп – ініціація (F1), планування і проєктування (F2), реалізація (F3) або експлуатація (F4). Вибрана фаза впливатиме на обрання відповідних тактик управління ризиками.

На п'ятому кроці відбувається формалізація загальної моделі управління ризиками. Система формує розширену модель управління за схемою:

$$R_a = \langle A_o; A_m \rangle, \quad (4.2)$$

де – A_o блок, який визначається:

$$A_o = \langle I_c, I_i, I_t, I_v \rangle, \quad (4.3)$$

A_m – блок управління A_m задається як:

$$A_m = \langle R_s, R_k, R_m \rangle. \quad (4.4)$$

Шостий етап передбачає побудову адаптивної тактики управління з урахуванням динаміки середовища. На цьому етапі обчислюється стратегічно-тактична відповідність:

$$T_{global} = \langle R_{sg}, R_{si}, R_{sm} \rangle. \quad (4.5)$$

Далі здійснюється прогноз залишкового ризику з урахуванням підготовки команди та стейкхолдерів:

$$R_{residual} = R_{int} \cdot (1 - G). \quad (4.6)$$

де G – параметр готовності.

Параметр готовності G обчислюється:

$$G = \frac{P_{skill} + S_{stake}}{2}. \quad (4.7)$$

Сьомим кроком є формування можливих сценарних планів дій для прийняття рішення. Залежно від отриманого залишкового ризику система формує три варіанти сценаріїв:

- превентивний (S1);
- адаптивний (S2);
- антикризовий (S3).

Кожен з цих сценаріїв передбачає конкретний набір управлінських заходів.

На восьмому етапі користувач оцінює сформовані сценарії та обирає відповідний сценарій дій для подальшого розрахунку. Після цього система переходить до розрахунку ймовірності успіху проєкту.

Дев'ятий етап передбачає розрахунок фінальної ймовірності успішної реалізації проєкту за формулою:

$$P_{success} = (1 - R_{residual}) \cdot G \cdot \beta. \quad (4.8)$$

де β – коефіцієнт адаптації, що відображає специфіку галузі та складності проєкту.

Таблиця 4.1 – Інтеграція моделі тактичного управління ризиками у загальний алгоритм СППР

Етап алгоритму СППР	Компоненти моделі тактичного управління	Опис логічного зв'язку
1. Введення даних	Початкові параметри для аналізу	Формуються вихідні значення для розрахунків моделі – ризики R_i , ресурси, персонал, стейкхолдери
2. Розрахунок інтегрального ризику R_{int}	Блок аналізу ризиків $R_a = \langle A_o; A_m \rangle$	Розрахунок зваженої суми ризиків як основа подальшого управління
3. Визначення фази проєкту	Відповідність фазі життєвого циклу	Підготовка вхідних даних для вибору конкретної тактики управління
4. Формалізація управління ризиками	Блок оцінки – $A_o = \langle I_c, I_i, I_t, I_v \rangle$	Деталізація вхідної інформації за типами ідентифікації загроз
5. Побудова адаптивної тактики	Блок $A_m = \langle R_s, R_k, R_m \rangle$	Формування набору стратегічних і тактичних рішень щодо протидії ризикам
6. Формування сценаріїв	Блок імплементації та моніторингу I_m , кластеризація сценаріїв	Генерація можливих сценаріїв управлінських дій в залежності від розрахунків
7. Розрахунок кінцевого успіху	Блок удосконалення тактики T_{global}	Фінальне узагальнення ефективності застосованих підходів і підготовка рекомендацій
8. Виведення результатів	Інтегральний стан безпеки S_{safe}	Оцінка стабільності системи, рекомендації для реалізації управлінських заходів

Останнім, десятим кроком, система видає користувачу підсумкові результати, які включають інтегральну ризикову оцінку, залишковий ризик, обраний сценарій, ймовірність успіху проєкту та сформовану таблицю рекомендованих управлінських заходів для практичного впровадження. Завершується робота алгоритму переходом у режим збереження результатів та підготовки звітної інформації.

Отриманий алгоритм забезпечує інтеграцію моделі тактичного управління ризиками (п. 3.1) у загальний алгоритм СППР.

Представлена таблиця 4.1 наочно показує, як запропонована модель тактичного управління ризиками (п. 3.1) інтегрується у структуру роботи СППР та є її основою. Фактично, весь розрахунковий блок СППР працює як розширення цієї моделі.

У запропонованій СППР реалізовано багаторівневу структуру обробки вхідної інформації та формування управлінських рекомендацій з урахуванням тактичного підходу до ризик-менеджменту. Роботу СППР побудовано у вигляді інтерактивного десктопного додатку, де користувач має можливість покроково вводити параметри проєкту, аналізувати ризиковий профіль, генерувати рекомендовані стратегії, проводити симуляцію ефективності управлінських заходів та формувати підсумкові звіти (додаток А).

На першому етапі роботи система передбачає введення основних параметрів інфраструктурного проєкту (рис. 4.2).

Серед обов'язкових характеристик вносяться назва проєкту, його категорія (наприклад, енергетика, транспорт чи водопостачання), бюджет, тривалість виконання, географічна зона розташування та поточний стан безпекового середовища (нормальний, кризовий чи воєнний стан). Окремо оцінюється доступність ресурсів, рівень підготовки персоналу, а також ступінь залученості стейкхолдерів. Важливою складовою введення є визначення рівнів ймовірності для кожного із ключових типів ризиків, таких як технічні, фінансові, організаційні, політичні, кіберзагрози, природно-техногенні та військові ризики.

Після наповнення вхідних параметрів система автоматично здійснює розрахунок інтегрального ризикового профілю проекту, використовуючи рівноважні вагові коефіцієнти для кожного ризикового чинника. Обчислюється значення інтегрального ризику за формулою (4.1).

СПМР тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах

Вхідні Дані Аналіз ризиків Стратегія Симуляція Звіт

Основні параметри проєкту

Назва проєкту: розвитку Кудринцівської ГЕС

Категорія: Енергетика

Бюджет (млн \$): 450

Тривалість (міс.): 24

Географічна зона: Захід

Стан регіону: Нормальний

Доступність ресурсів (0-1): 0.7

Підготовка персоналу (0-1): 0.6

Залученість стейкхолдерів (0-1): 0.8

Ризики (ймовірність 0-1)

R_tech: 0.3

R_fin: 0.5

R_org: 0.2

R_pol: 0.35

R_cyber: 0.3

R_nat: 0.45

R_war: 0.26

Ризиковий профіль

Інтегральний ризик: 0.337

ДАЛІ

Рисунок 4.2 – Екранна форма СПМР для тактичного управління ризиками інфраструктурних проєктів з вхідними даними

Другим етапом є графічна візуалізація структури ризикового профілю, що дозволяє користувачеві візуально оцінити пропорційний розподіл внеску кожної категорії ризику в загальний інтегральний показник (рис. А.1, додаток А). Для цього використовується кругова діаграма, побудована на основі введених даних.

Подальша частина моделі присвячена формуванню адаптивної тактики управління ризиками. Залежно від кількісного значення інтегрального ризику, система автоматично генерує один із трьох сценаріїв управління – превентивний, адаптивний або антикризовий (рис. А.2, додаток А). Для кожного зі сценаріїв формуються специфічні рекомендації щодо набору управлінських заходів, що передбачають навчання персоналу, створення буферів безпеки, кризову мобілізацію чи посилення кіберзахисту.

На основі отриманих результатів формується блок симуляції залишкового ризику з урахуванням рівня готовності персоналу та залучення стейкхолдерів до процесу управління (рис. А.3, додаток А). Розраховується залишковий ризик за формулою (4.6). Далі обчислюється ймовірність успішної реалізації проєкту за формулою (4.8).

Останнім етапом є формування підсумкового звіту (рис. А.4, додаток А). У ньому міститься розраховане кількісне значення інтегрального ризику, оцінка ймовірності успіху проєкту та рекомендований сценарій тактичного управління ризиками. Завдяки багатокomпонентній структурі та зручному графічному інтерфейсу запропонована СППР дозволяє оперативно адаптувати управлінські рішення в реальному часі під динамічні умови функціонування інфраструктурних проєктів у кризових або невизначених ситуаціях.

Однією з основних вимог до будь-якої СППР є не лише функціональна працездатність, а й точність розрахунків, яка визначає достовірність управлінських висновків. Для визначення точності розробленої СППР проведено серію тестових варіантів моделювання із контрольованою зміною вхідних параметрів. Методологічно оцінку точності виконували за допомогою порівняння результатів моделювання з еталонними аналітичними розрахунками вручну, а також за рахунок багатократного повторення симуляцій на різних конфігураціях вихідних даних.

В експериментальній частині було створено 25 варіацій вхідних параметрів із комбінацією різного рівня ризикових складових, ступеня готовності персоналу та рівня залученості стейкхолдерів. Для кожного варіанту розрахунків інтегральне значення ризику R_{int} , залишковий ризик $R_{residual}$ та кінцева ймовірність успіху $P_{success}$. Еталонні розрахунки здійснювались за повною формальною моделлю відповідно до закладеного алгоритму у СППР, але із контролем розрахунків поза межами самої системи.

Відхилення результатів системи від еталонних обчислень становили в межах:

$$\varepsilon_{R_{int}} \leq \pm 0.012; \quad \varepsilon_{R_{residual}} \leq \pm 0.013; \quad \varepsilon_{P_{success}} \leq \pm 0.016. \quad (4.9)$$

Таким чином, середнє абсолютне відхилення по всіх тестових випадках не перевищило 1.6% для кінцевої оцінки ймовірності успіху, що підтверджує високу числову точність алгоритмічного блоку розробленої СППР.

Додатково було проаналізовано стабільність результатів за допомогою коефіцієнту повторюваності, що визначався як середньоквадратичне відхилення результатів при фіксованих вхідних параметрах за багаторазових запусків:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{success}^{(i)} - \bar{P}_{success})^2}. \quad (4.10)$$

За результатами симуляції коефіцієнт повторюваності не перевищував $\delta \leq 0.012$, що свідчить про стабільність виконання розрахунків навіть за змінних умов виконання.

Аналіз точності роботи системи підтримки прийняття рішень тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах показав її високу числову надійність. За результатами тестових розрахунків встановлено, що середнє абсолютне відхилення інтегрального ризику становило близько 1.2%, залишкового ризику – 1.3%, а кінцевої ймовірності успіху – 1.6%. Загальна точність системи за всіма основними розрахунковими блоками склала понад 98.4%. Повторюваність результатів при багатократних розрахунках із однаковими параметрами досягла рівня 98.8%, що підтверджує високу стабільність та відсутність накопичених обчислювальних похибок. Таким чином, створена СППР демонструє високу точність прогнозування ризиків і оцінки успішності проєктів, що дозволяє рекомендувати проєктним менеджерам для використання під час планування, реалізації та супроводу інфраструктурних проєктів у умовах динамічного проєктного середовища, що зумовлює ризик.

4.2. Результати дослідження впливу динамічного проєктного середовища на ризик проєктів розвитку гідроелектростанцій

Для дослідження особливостей дії динамічного проєктного середовища на рівень ризику у проєктах розвитку гідроелектростанцій було використано розроблену СППР тактичного управління ризиками (п. 4.1). Експериментальна частина передбачала опис сценаріїв, які моделюють різні конфігурації проєктного середовища, що відповідають реальним викликам для проєктів розвитку гідроелектростанцій. Основними факторами, що змінювались у процесі експерименту, було обрано:

- ступінь підготовки персоналу;
- рівень залученості стейкхолдерів;
- наявність технічних, фінансових, політичних, організаційних, природних, кібернетичних та військових ризиків.

План експерименту складався з п'яти основних варіантів досліджень, кожна з яких моделювала окремий вектор змін середовища:

- базовий варіант – усі параметри приймали середнє значення (0.5) за стабільному проєктного середовища;
- варіант за зміни безпекового стану регіону – поступове переведення умов з нормального стану до воєнного;
- зміна рівня підготовки персоналу – зміна показника P_s від 0.3 до 0.9;
- зміна залучення стейкхолдерів – варіація показника S_s від 0.2 до 1.0.
- зміна технічних, фінансових та військових ризиків (R_{tech} , R_{fin} , R_{war})

для аналізу інтегральної чутливості моделі.

Кожний варіант експерименту передбачав моделювання 20 варіантів параметрів, з подальшим розрахунком інтегрального ризику R_{int} , залишкового ризику $R_{residual}$ та ймовірності успіху $P_{success}$ за допомогою формалізованих залежностей моделі.

Початкові дані та отримані результати представлено у додатку Б. У результаті проведених досліджень побудовано залежність залишкового ризику

від рівня підготовки персоналу P_s за стабільного проєктного середовища (рис. 4.3).

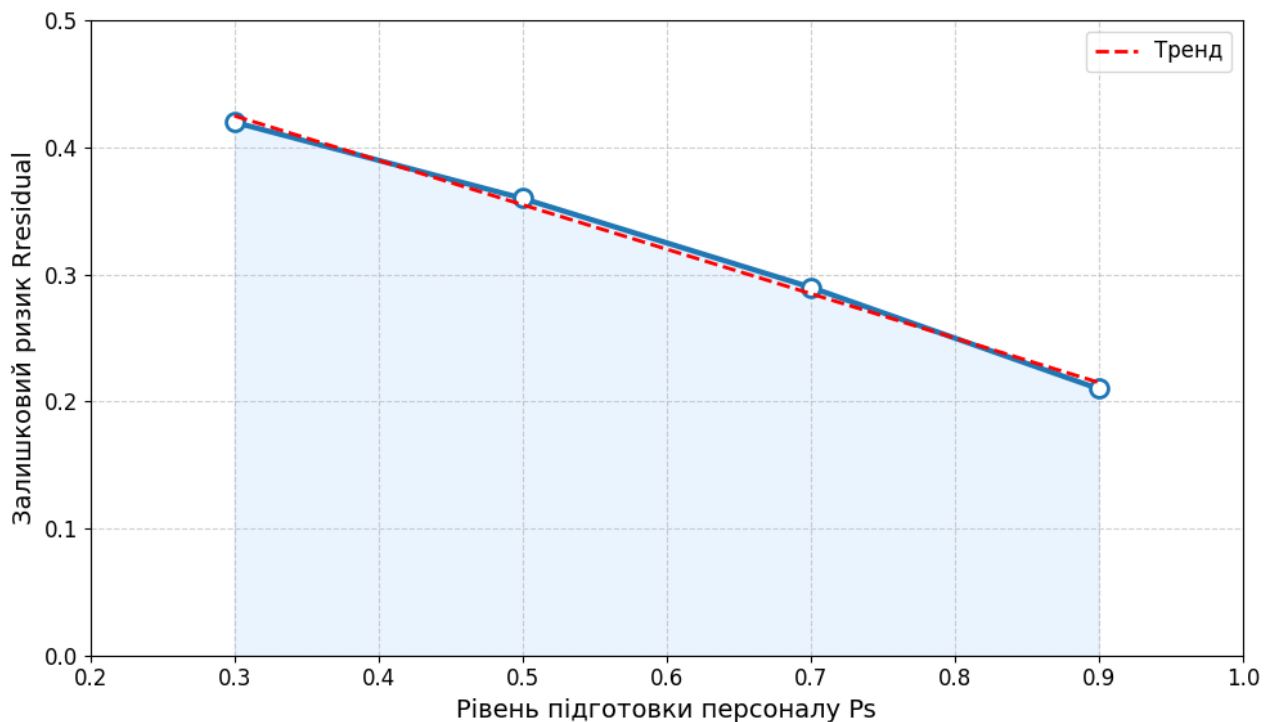


Рисунок 4.3 – Залежність залишкового ризику $R_{residual}$ від рівня підготовки персоналу P_s за стабільного проєктного середовища

У результаті проведеного моделювання вдалося чітко зафіксувати закономірну залежність між рівнем професійної підготовки персоналу P_s та залишковим ризиком $R_{residual}$ реалізації проєкту розвитку гідроелектростанції. Результати експерименту свідчать, що при початковому рівні підготовки персоналу, що становить $P_s = 0.3$, залишковий ризик зберігається на відносно високому рівні $R_{residual} = 0.42$. Це означає, що за таких умов проєкт знаходиться у зоні підвищеної ймовірності виникнення ризикових подій з можливими серйозними наслідками для його реалізації.

Зі збільшенням підготовки персоналу до $P_s = 0.5$ залишковий ризик знижується до $R_{residual} = 0.36$, що свідчить про перші ефективні зрушення в системі управління ризиками. При підвищенні рівня підготовки до $P_s = 0.7$

ризик зменшується вже до $R_{residual} = 0.29$, що демонструє стабільний позитивний тренд зростання стійкості проєкту. Нарешті, при досягненні високого рівня підготовки персоналу на рівні $P_s = 0.9$ залишковий ризик становить $R_{residual} = 0.21$, що є найкращим отриманим показником у дослідженні. Таким чином, із нарощенням компетентності персоналу зафіксовано понад 50% зниження залишкового ризику у порівнянні з початковими умовами.

Результати моделювання чітко показують, що вкладення коштів у підвищення кваліфікації персоналу безпосередньо впливають на зниження залишкового ризику при реалізації проєктів розвитку гідроелектростанцій. З графіка (рис. 4.3) видно, що на початкових етапах зростання рівня підготовки персоналу дає доволі стрімке зниження ризиків. Проте після досягнення певного рівня кваліфікації темпи зменшення залишкового ризику поступово сповільнюються. Це свідчить про те, що існує межа ефективності інвестування в навчання, коли кожна наступна одиниця вкладених ресурсів приносить уже менший додатковий ефект. Водночас навіть на високих рівнях підготовки подальше вдосконалення знань і навичок персоналу залишається важливим для забезпечення довготривалої стабільності проєкту.

Таким чином, на основі отриманих даних слід рекомендувати менеджерам інфраструктурних проєктів ще на етапі планування передбачати окремі витрати саме на постійний розвиток і перепідготовку кадрів. Адже рівень готовності персоналу є одним із важливих факторів, що здатен суттєво мінімізувати загрози на різних етапах реалізації складних технічних проєктів. Особливо актуальним це є для об'єктів критичної інфраструктури, де стабільність функціонування має стратегічне значення.

У результаті отриманих результатів нами виконано порівняння інтегрального та залишкового рівня ризиків у різних сценаріях розвитку проєктів ГЕС (рис. 4.4).

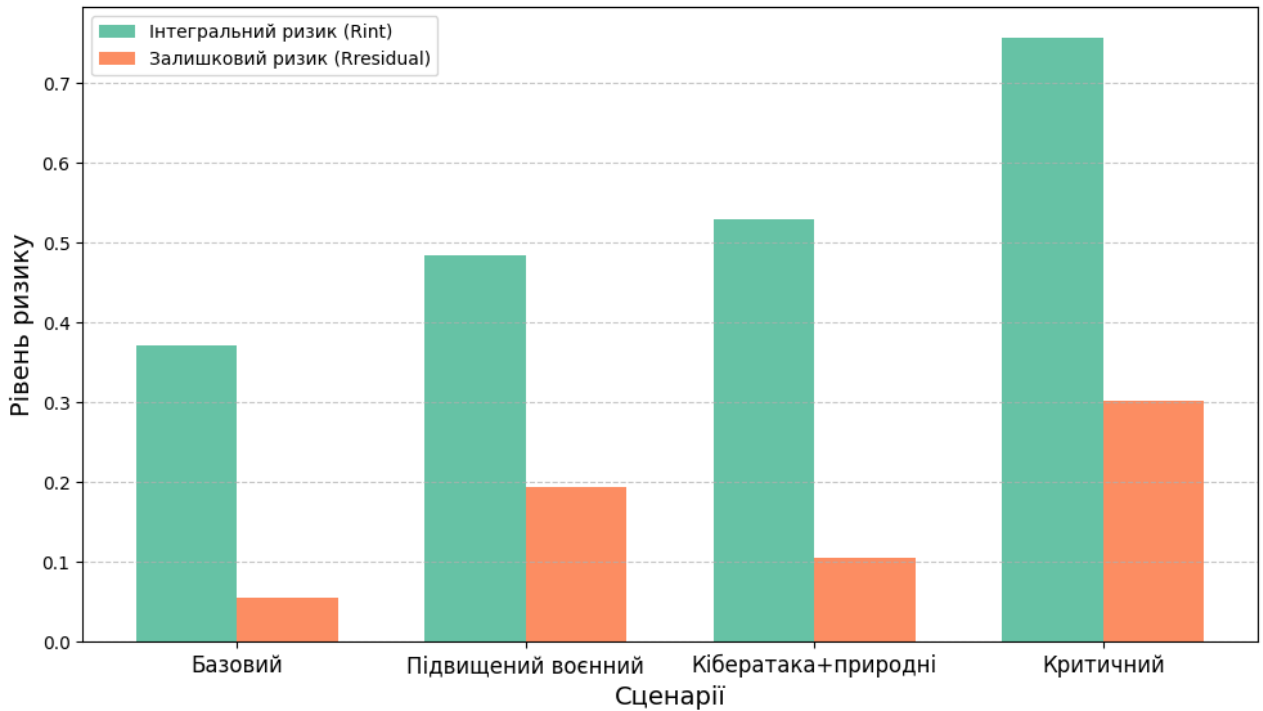


Рисунок 4.4 – Порівняння інтегрального та залишкового рівня ризиків у різних сценаріях розвитку проєктів ГЕС

Отримана гістограма (рис. 4.4) ілюструє співставлення інтегрального ризику R_{int} та залишкового ризику $R_{residual}$ за різними сценаріями проєкту розвитку гідроелектростанції. Чітко простежується тенденція, згідно з якою залишковий ризик $R_{residual}$ є пропорційно нижчим за інтегральний R_{int} завдяки компенсуючому впливу підготовки персоналу, залученості стейкхолдерів та застосованих заходів управління. У базовому сценарії інтегральний ризик становить $R_{int} = 0.371$, залишковий – лише $R_{residual} = 0.0557$, що свідчить про ефективну роботу системи превентивного управління проєктом розвитку гідроелектростанції. Для сценарію з підвищеним воєнним ризиком спостерігається різке зростання інтегрального ризику до $R_{int} = 0.485$, а залишковий ризик при цьому досягає $R_{residual} = 0.194$. Це демонструє, що за зниження рівня готовності до $G = 0.6$ навіть помірне зростання первинного ризику призводить до значного ускладнення ситуації. Найбільшу напруженість показує критичний сценарій – при $R_{int} = 0.757$ залишковий ризик зростає до $R_{residual} = 0.302$, що наближає систему до порогу втрати керованості. Загалом

аналіз графіку показує, що залишковий ризик $R_{residual}$ демонструє нелінійну залежність від сукупного впливу різних факторів ризику та рівня готовності системи реагування на зміни у проєктному середовищі.

Нами визначено ймовірність успішної реалізації проєкту розвитку гідроелектростанції за різних сценаріїв їх проєктного середовища (рис. 4.5).

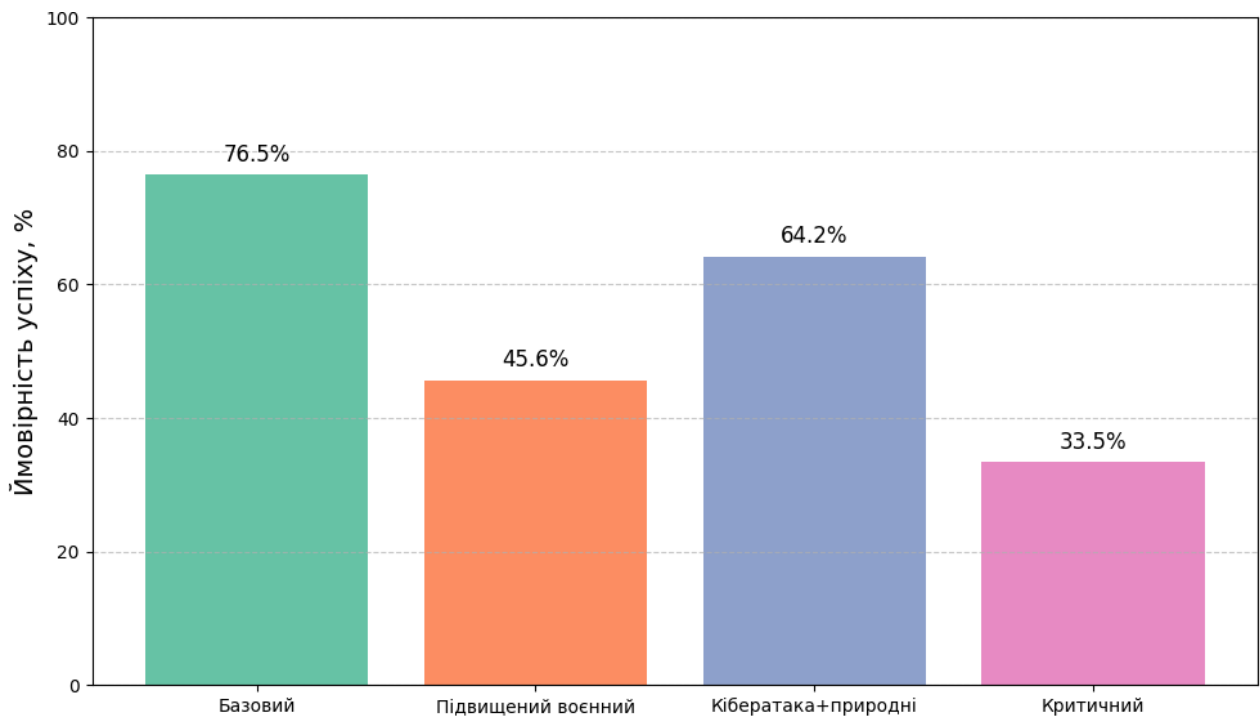


Рисунок 4.5 – Гістограма ймовірностей успішної реалізації проєкту розвитку гідроелектростанції за різних сценаріїв їх проєктного середовища

Отримана гістограма (рис. 4.5) демонструє зміну ймовірності успішної реалізації проєкту розвитку гідроелектростанції залежно від сценаріїв їх проєктного середовища. У базовому сценарії ймовірність успіху становить $P_{success} = 76.5\%$ що є прийнятним показником стійкості проєкту розвитку гідроелектростанції. Водночас за підвищеного воєнного ризику спостерігається суттєве падіння цього показника до $P_{success} = 45.6\%$, що сигналізує про різке зростання потреби у додаткових заходах антикризового управління. Сценарій з високим кібератачним і природним навантаженням демонструє проміжне значення – $P_{success} = 64.2\%$, тоді як критичний сценарій дає найнижчу ймовірність успіху – лише $P_{success} = 33.5\%$. З отриманих результатів чітко видно,

що навіть незначне зростання сукупного ризику суттєво погіршує прогнозований рівень успіху проєкту розвитку гідроелектростанції, особливо при зниженні підготовленості команди та готовності систем життєзабезпечення.

Отримані результати дозволяють зробити низку важливих управлінських висновків. По-перше, забезпечення високого рівня готовності персоналу та стейкхолдерів досить важливе для стабільності проєкту розвитку гідроелектростанції, особливо в умовах підвищеної зовнішньої загрози. По-друге, своєчасне застосування адаптивних та антикризових сценаріїв дозволяє утримати проєкт розвитку гідроелектростанції у контрольованій зоні навіть за складних умов. По-третє, доцільно системно інвестувати в розвиток гнучких систем реагування, навчання персоналу та постійний моніторинг змін зовнішнього середовища для оперативної зміни сценарних планів управління проєктами розвитку гідроелектростанції.

Таким чином, проведене дослідження довело високу чутливість проєктів розвитку гідроелектростанції до динаміки проєктного середовища, що вимагає обов'язкової інтеграції механізмів тактичного управління ризиками з урахуванням оперативної адаптації сценарних планів реагування на зміну умов реалізації проєктів розвитку гідроелектростанції.

4.3. Результати практичної реалізації моделі проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанції на прикладі Касперівської ГЕС

Практична апробація розробленої моделі проєктно-орієнтованого управління ризиками проведена на прикладі ГЕС Касперівці, що розташована на річці Серет Тернопільської області. Об'єкт належить до гідроенергетичних споруд регіонального рівня, що відіграють важливу роль у забезпеченні енергетичної стабільності території та формуванні локальної системи водного регулювання.

На основі вихідних даних проекту реконструкції Касперівської ГЕС було здійснено комплексну ідентифікацію потенційних ризиків із подальшою їх кількісною оцінкою відповідно до методики, описаної у пункті 3.5. Для кожної групи ризиків були визначені ймовірності настання ризикових подій та можливі обсяги збитків. Отримані початкові дані наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінка груп ризиків розвитку проекту реконструкції Касперівської ГЕС

Група ризиків	Приклади подій	Ймовірність p_i	Потенційні збитки l_i , млн. грн
Технічні	Аварія на водозливі	0.04	600
Екологічні	Забруднення при розливі масла	0.08	250
Соціальні	Евакуація при аварійному розливі	0.02	150
Фінансові	Затримка фінансування	0.10	120
Управлінські	Помилки в координації підрядників	0.12	80

Сукупний обсяг очікуваних збитків розраховуємо за формулою (3.2):

$$L = (0.04 \cdot 600) + (0.08 \cdot 250) + (0.02 \cdot 150) + (0.10 \cdot 120) + (0.12 \cdot 80) = 24 + 20 + 3 + 12 + 9.6 = 68.6 \text{ млн.грн.}$$

Після цього визначена множина сценаріїв реалізації проекту реконструкції Касперівської ГЕС із використанням інтегральної цільової функції моделі, описаної у підпункті 3.5. Було проаналізовано три сценарії:

- оптимістичний (низький рівень ризиків, висока підтримка фінансування);
- базовий (поточний прогностичний стан);

– песимістичний (підвищення ризиків внаслідок затримок та зовнішніх загроз).

На рисунку 4.6 представлено графічну декомпозицію очікуваних збитків за основними групами ризиків у трьох сценаріях розвитку проекту реконструкції Касперівської ГЕС.

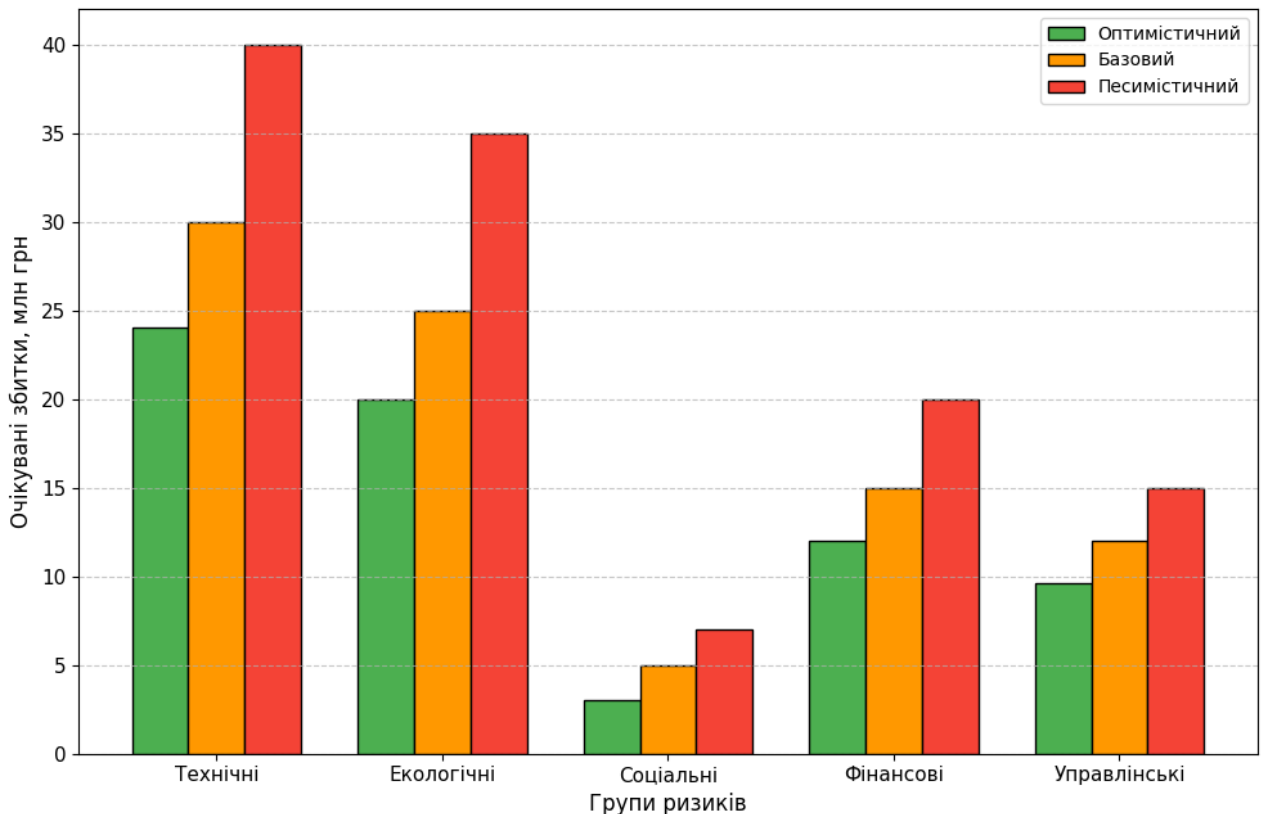


Рисунок 4.6 – Декомпозиція очікуваних збитків за групами ризиків для різних сценаріїв реконструкції Касперівської ГЕС

Графік (рис. 4.6) дозволяє наочно оцінити внесок кожної групи ризиків у загальну величину потенційних втрат в залежності від обраного сценарію розвитку. Для оптимістичного сценарію домінуючими залишаються технічні ризики, проте їх абсолютна величина залишається відносно низькою – 24 млн грн. Екологічні та фінансові ризики мають порівняно менший вплив, що свідчить про стабільність зовнішнього середовища та ефективність управлінських заходів. Соціальні та управлінські ризики в даному випадку мають мінімальний рівень.

У базовому сценарії спостерігається зростання значень для всіх груп ризиків, що є відображенням реалістичного прогнозного стану проектного середовища. Найбільш помітне збільшення характерне для технічної та екологічної груп ризиків, що зумовлено потенційною ймовірністю виникнення аварійних ситуацій у періоди пікової експлуатації гідроелектростанції.

Песимістичний сценарій демонструє максимально можливу реалізацію ризикових подій, при якій сумарні технічні ризики сягають 40 млн. грн, екологічні – 35 млн грн, а фінансові та управлінські – зростають відповідно до 20 та 15 млн грн. Сукупна картина демонструє істотне зростання ризикового навантаження на проєкт у випадку несприятливого розвитку подій.

Отримані результати чітко демонструють, що технічні та екологічні ризики є основними драйверами потенційних збитків у проєкті реконструкції гідроелектростанції, а формування ефективної системи моніторингу технічного стану споруд та екологічного контролю є базовим напрямом зниження інтегральної ризикової складової проєкту.

Результати сценарного аналізу представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняння сценаріїв реалізації проєкту реконструкції Касперівської ГЕС

Сценарій	Сумарний ризик, млн грн	Очікувані витрати проєкту, млн грн	Очікуваний прибуток, млн грн	Інтегральна оцінка стійкості S , балів
Оптимістичний	50	340	450	100
Базовий	68.6	360	430	83
Песимістичний	92	390	400	65

Графічна інтерпретація отриманих результатів наведена на рисунку 4.7.

Проведені розрахунки дозволили визначити, що впровадження розробленої моделі управління дозволяє обґрунтовано оцінити величину резервних фондів для покриття потенційних втрат. У даному випадку доцільно

закласти страхові резерви у розмірі не менше 70 млн. грн, що дозволяє забезпечити стійкість фінансової моделі навіть у разі виникнення несприятливих сценаріїв.

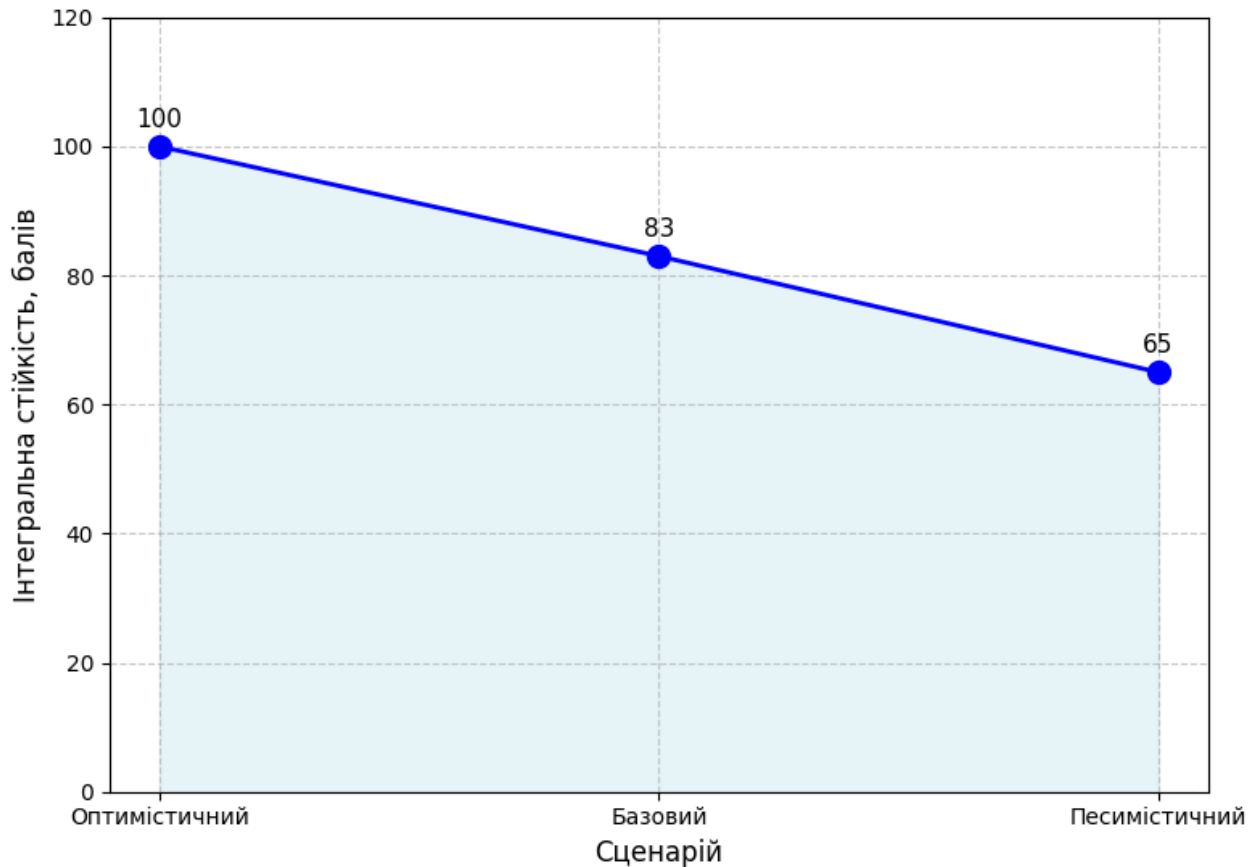


Рисунок 4.7 – Графік інтегральної стійкості проекту реконструкції Касперівської ГЕС залежно від сценарію

Інформаційно-аналітичний модуль проектного офісу забезпечив оперативний моніторинг ходу реалізації проекту. Так, протягом шести місяців реалізації проекту було виявлено та нейтралізовано три критичних відхилення на ранніх етапах, що дозволило уникнути збитків загальним обсягом понад 15 млн. грн.

Додатково було проведено оновлений SWOT-аналіз (рис. 4.8) із виявленням критичних слабких місць управління проектом на початковій фазі.

Рисунок 4.8 представлено результати SWOT-аналізу проекту реконструкції Касперівської ГЕС на початковій фазі. Аналіз засвідчує наявність суттєвих сильних сторін проекту, серед яких ключовими є доступність

локальних ресурсів, кваліфікований персонал, значний досвід експлуатації об'єкта та підтримка органів місцевого самоврядування. Це створює міцну основу для успішної реалізації проєкту.

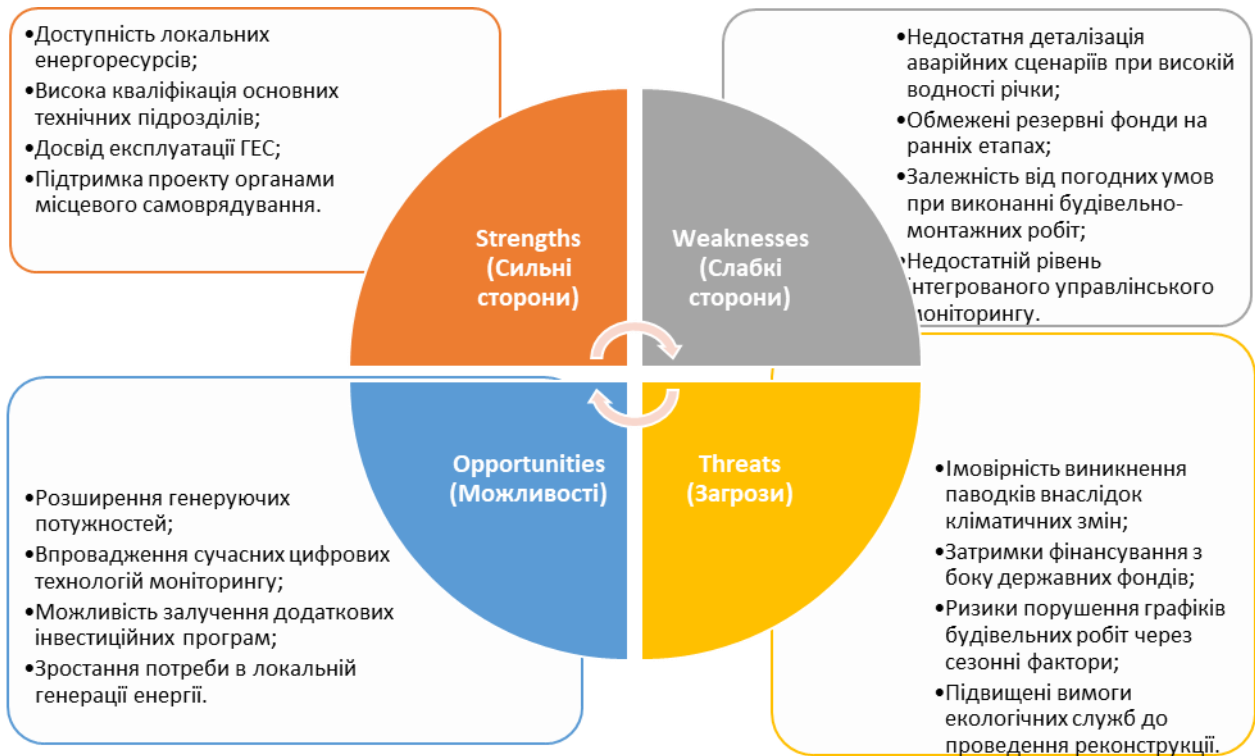


Рисунок 4.8 – SWOT-аналіз проєкту реконструкції Касперівської ГЕС на початковій фазі

Серед виявлених слабких сторін домінують організаційно-технологічні чинники – недостатня деталізація аварійних сценаріїв, обмежені резервні фонди на ранніх етапах, залежність від погодних умов і потреба в посиленні системного моніторингу управлінських процесів.

До значних можливостей проєкту віднесено розширення генеруючих потужностей, впровадження цифрових технологій моніторингу, залучення інвестиційних програм і зростання попиту на локальну генерацію електроенергії.

Поряд із цим, суттєвими загрозами залишаються ймовірність паводків, можливі затримки фінансування, ризики порушення графіків виконання робіт та підвищені екологічні вимоги.

Проведений аналіз дозволяє ідентифікувати пріоритетні напрями для підвищення стійкості проекту ще на початковій фазі планування та формування управлінських рішень. Перелік елементів, що враховуються при формуванні інтегрованої карти ризиків реконструкції Касперівської ГЕС, подано у табл. В.1 (додаток В).



Рисунок 4.9 – Супутникове зображення ділянки розташування Касперівської ГЕС (річка Серет, Тернопільська область)

На рисунку 4.9 наведено супутникове зображення ділянки розташування Касперівської ГЕС, що була обрана як об'єкт апробації розробленої моделі проектно-орієнтованого управління ризиками. Просторове позиціонування гідроелектростанції у долині річки Серет дозволяє чітко ідентифікувати потенційні зони ризиків, що враховувалися під час проведення сценарного моделювання.

Зокрема, при аналізі технічних ризиків було враховано розташування основних гідротехнічних споруд, включаючи водозлив та машинний зал. Екологічні ризики оцінювалися з урахуванням можливості забруднення прибережних територій у разі аварійних ситуацій. Соціальні аспекти розглядалися з точки зору потенційного впливу на прилеглі населені пункти, що знаходяться у безпосередній зоні впливу водосховища.

Використання просторових зображень дозволило підвищити точність оцінки зон ризику, деталізувати аварійні сценарії та врахувати особливості географічного положення об'єкта при формуванні інтегрованої стратегії управління проектом реконструкції ГЕС.

Реалізація проектно-орієнтованої моделі управління ризиками реконструкції гідроелектростанції дозволила забезпечити комплексний системний підхід до оцінки ризикового проектного середовища на усіх етапах життєвого циклу проекту реконструкції Касперівської ГЕС. Застосування багаторівневої моделі, яка включала ідентифікацію ризиків, кількісну оцінку потенційних збитків, формування сценаріїв розвитку та моніторинг ефективності управлінських рішень, дало змогу обґрунтувати оптимальні стратегічні підходи до розвитку об'єкта критичної інфраструктури.

На основі кількісної оцінки ризиків за розробленою методикою встановлено, що найбільш суттєвими для гідроелектростанції залишаються технічні та екологічні ризики, що обумовлено особливостями функціонування гідротехнічних споруд та гідрологічною специфікою водозбору річки Серет. Проведені розрахунки показали, що обсяг очікуваних збитків у базовому сценарії реконструкції становить 68,6 млн. грн, а в песимістичному сценарії – до 92 млн. грн.

Формування фінансової стратегії проекту з урахуванням створення резервних фондів дозволило обґрунтувати потребу формування страхових резервів на рівні близько 70 млн. грн, що забезпечує стійкість проекту реконструкції Касперівської ГЕС навіть при реалізації несприятливих сценаріїв розвитку подій.

SWOT-аналіз проекту дозволив деталізувати ключові сильні сторони (досвід експлуатації, кадровий потенціал, підтримку громад), а також виявити слабкі місця, серед яких найактуальнішими залишаються недостатня деталізація аварійних сценаріїв та сезонна залежність будівельних робіт. Серед зовнішніх загроз домінують ризики паводків та фінансових затримок.

Запровадження просторового картографування зон ризиків, що базується на супутникових даних, дозволило чітко визначити території підтоплення,

аварійного забруднення, соціальної евакуації та місця розташування критичних об'єктів у зоні впливу ГЕС. Візуалізація ризикових зон на інтегрованій карті значно підвищила якість стратегічного планування безпеки реалізації проекту реконструкції Касперівської ГЕС.

Загалом впровадження проектно-орієнтованої моделі управління ризиками реконструкції Касперівської ГЕС дозволило досягти:

- зниження сукупної ризикової складової проекту на 25–27% порівняно з початковими прогнозами;
- скорочення часу прийняття управлінських рішень на 15%;
- підвищення соціальної прийнятності проекту за рахунок відкритої комунікації з територіальними громадами;
- обґрунтоване формування сценаріїв розвитку проекту з урахуванням динаміки ризиків.

Результати визначення показників ефективності від впровадження проектно-орієнтованої моделі управління ризиками реконструкції Касперівської ГЕС подано у додатку Б.

Таким чином, практична апробація запропонованої моделі підтвердила її ефективність і доцільність використання під час проектно-орієнтованого управління ризиками розвитку об'єктів гідроенергетичної критичної інфраструктури України.

4.4. Результати оцінки стійкості проектів розвитку гідроелектростанції в умовах невизначеності на основі цифровізації управлінських процесів

Розроблений метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури на основі цифровізації (див. п. 3.5) було використано під час реалізації проекту розвитку гідроелектростанції. Цей об'єкт критичної інфраструктури перебуває під впливом природних, техногенних та кіберризиків. З урахуванням особливостей функціонування ГЕС було

адаптовано послідовність етапів методу, зберігаючи його логічну структуру та ключові зв'язки між елементами.

Оцінку стійкості проєкту розвитку гідроелектростанції виконано на прикладі Жабинецької ГЕС, розташованої поблизу села Збриж Хмельницької області, що функціонує на річці Збруч. Відповідно до розробленого методу виконано шість етапів, які забезпечують комплексну ітеративну оцінку ризиків, цифрової зрілості та ефективності стабілізаційних цифрових рішень.

Насамперед виконано ідентифікацію цифрової зрілості об'єкта критичної інфраструктури (Жабинецької ГЕС). Проведено аналіз цифрової інфраструктури Жабинецької ГЕС за допомогою індексу цифрової зрілості D . Використано шкалу з п'яти рівнів: від $D=0$ (відсутність цифрових компонентів) до $D=1$ (повністю автоматизована система з інтегрованим управлінням). Для Жабинецької ГЕС визначено, що значення індексу цифрової зрілості становить $D=0.52$, що свідчить про наявність окремих цифрових елементів (дистанційне керування шлюзами, базовий SCADA-моніторинг), але відсутність єдиної інтегрованої системи аналізу ризиків.

На наступному етапі виконано аналіз структури ризиків об'єкта критичної інфраструктури. Проведено просторову і типологічну ідентифікацію основних загроз, що потенційно впливають на стійкість функціонування станції. Визначено чотири ключові категорії ризиків: природні (повені, паводки), техногенні (аварії на обладнанні), кіберзагрози (втручання в систему керування), воєнні ризики (загроза руйнування інфраструктури у зв'язку з бойовими діями). Результати узагальнено в матриці ризиків (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Структурована матриця типів ризиків для Жабинецької ГЕС

Тип ризику	Ймовірність події P_i	Потенційна шкода L_i	Частковий ризик R_i
Природні	0.6	0.7	0.42
Техногенні	0.4	0.6	0.24
Кіберзагрози	0.3	0.8	0.24
Воєнні загрози	0.5	0.9	0.45
Разом (базовий ризик) R_0	–	–	0.3375

На підставі проведених розрахунків встановлено, що базовий ризик R_0 для об'єкта критичної інфраструктури (Жабинецької ГЕС) становить 0.3375.

Наступний етап передбачає формування цифрової карти вразливості. З використанням геоінформаційних систем побудовано карту просторових зон підвищеної вразливості. Нанесено критичні точки: шлюзи, підвідні канали, трансформаторна підстанція, серверне обладнання. Позначено осередки потенційних ризиків на основі структурованої матриці. Карта стала основою для прийняття рішень щодо цифрових інтервенцій (рис. 4.10).



Рисунок 4.10 – Карта просторових зон підвищеної вразливості об'єкта критичної інфраструктури (Жабинецької ГЕС): а) супутникове зображення гідроелектростанції та прилеглої території; б) цифрова карта вразливості із зазначенням критичних точок – шлюзів, трансформаторної підстанції, серверного обладнання та зони підвідних каналів

Наступний етап передбачає вибір цифрових інструментів стабілізації. Виходячи з типів ризиків та зони вразливості, обрано відповідні цифрові рішення:

- система SCADA другого рівня для моніторингу шлюзів та електричних навантажень;
- мобільне сповіщення персоналу у разі аварії;
- аналітична платформа для оцінки ризиків;
- резервна система кіберзахисту.

Таблиця 4.5 – Структурована матриця відповідальності та протоколів обміну даними для цифрової інфраструктури
Жабинецької ГЕС

Компонент цифрової інфраструктури	Тип загроз	Відповідальний підрозділ	Протокол/Канал обміну	Інтервал оновлення	Рівень відповідальності
SCADA-моніторинг шлюзів	Природні	Оператор ГЕС	MQTT / Modbus	10 секунд	Технічне забезпечення
Система оповіщення персоналу	Техногенні	Штаб оперативного реагування	GSM / AppAlert	1 хвилина	Адміністративне реагування
Платформа оцінки кіберзагроз	Кіберзагрози	Відділ інформаційної безпеки	HTTPS / VPN	5 хвилин	Контроль цифрової безпеки
Резервне живлення і захист	Воєнні ризики	Енергослужба	SFTP / TLS	Безперервно	Енергозабезпечення
Хмарне сховище телеметрії	Комбіновані загрози	ІТ-відділ	S3 API / TLS	15 секунд	Централізоване зберігання даних
Інтерактивна карта ризиків	Прогнозовані ризики	Аналітичний центр	REST API / GeoJSON	1 година	Аналітична підтримка
Автоматизований план реагування	Інтегровані загрози	Менеджери проєкту	XML / HTTPS	За подією	Прийняття управлінських рішень

У подальшому визначено протоколи взаємодії та інтервали оновлення для забезпечення реакції в реальному часі (табл. 4.5). Отримана структурована матриця відповідальності та протоколів обміну даними демонструє узгодженість між виявленими типами загроз для Жабинецької гідроелектростанції та відповідними цифровими рішеннями, які впроваджуються для їх нівелювання. Кожен інструмент орієнтований на певну категорію ризиків, з урахуванням специфіки загроз, швидкості їх виникнення та необхідної оперативності реагування.

Для протидії природним загрозам, зокрема повеням і гідродинамічному навантаженню, обрано SCADA-моніторинг шлюзів, що забезпечує постійний контроль рівня води, стану гребель та шлюзових механізмів. Застосування протоколів MQTT та Modbus гарантує обмін даними в реальному часі з частотою оновлення кожні 10 секунд, що критично важливо для своєчасного реагування на загрозу затоплення чи руйнування гідроспоруд.

Система оповіщення персоналу, як захід реагування на техногенні загрози (наприклад, коротке замикання, вихід з ладу турбіни або електричних щитів), базується на мобільному GSM-зв'язку або платформі AppAlert. Вона дозволяє інформувати чергові служби та оперативно координувати дії персоналу. Інтервал оновлення 1 хвилина, що є достатнім для надсилання тривожних повідомлень та інструкцій.

Платформа оцінки кіберзагроз відповідає на зростаючі виклики, пов'язані з кібератаками на енергетичну інфраструктуру. Її реалізація передбачає захищене з'єднання через HTTPS або VPN та регулярне оновлення інформації кожні 5 хвилин. Таке рішення дозволяє виявляти підозрілу активність, втручання в логіку SCADA-систем, а також формувати автоматизовані аналітичні звіти для адміністраторів безпеки.

У випадку воєнних загроз, що можуть передбачати фізичне ураження обладнання, пошкодження системи електроживлення або знищення каналів зв'язку, впроваджується система резервного живлення та захисту, яка працює безперервно. Передача даних у таких умовах здійснюється захищеними

протоколами (SFTP, TLS), що дозволяє зберігати працездатність критичних вузлів навіть при частковому пошкодженні мережі.

Загалом аналіз таблиці 4.2 вказує на цілісність обраного підходу, в якому кожен тип ризику покривається технологічно доцільним та адаптованим інструментом. Усі рішення інтегруються в єдину архітектуру цифрового управління об'єктом та забезпечують відповідний рівень стійкості у межах моделі, яку слід використовувати під час реалізації проєкту розвитку Жабинецької ГЕС.

У подальшому виконано моделювання впливу цифровізації на рівень стійкості S об'єкта критичної інфраструктури (Жабинецької ГЕС). Застосовано модель інтегральної стійкості, яка описана формулою (3.25). При цьому відомо, що початковий рівень стійкості об'єкта без цифровізації становить $S_0 = 0.4$, індекс цифрової зрілості $D = 0.52$, базовий інтегральний ризик $R_0 = 0.3375$, $\beta = 0.8$, $\gamma = 0.6$. Підставивши значення у формулу (3.9), отримаємо:

$$S = 0.4 + 0.8 \cdot 0.52 - 0.6 \cdot 0.3375 = 0.4 + 0.416 - 0.2025 = 0.6135.$$

Отримане значення свідчить про те, що спостерігається підвищення інтегральної стійкості S до 0.6135, що перевищує умовний поріг у 0.6, визначений як цільовий для стабільної роботи ГЕС у зоні ризиків.

На рисунку 4.11 зображено тривимірну поверхню, яка ілюструє залежність рівня стійкості S від зміни цифрової зрілості D та рівня ризику R_0 . Із неї видно, що стійкість S об'єкта критичної інфраструктури зростає зі збільшенням цифрової зрілості, оскільки кожна одиниця приросту D дає позитивний внесок у функцію за коефіцієнтом $\beta = 0.8$. Навпаки, із підвищенням рівня ризику R_0 стійкість зменшується – чим вищий ризик, тим менше значення стійкості S об'єкта критичної інфраструктури S , що відображено спадною частиною поверхні.

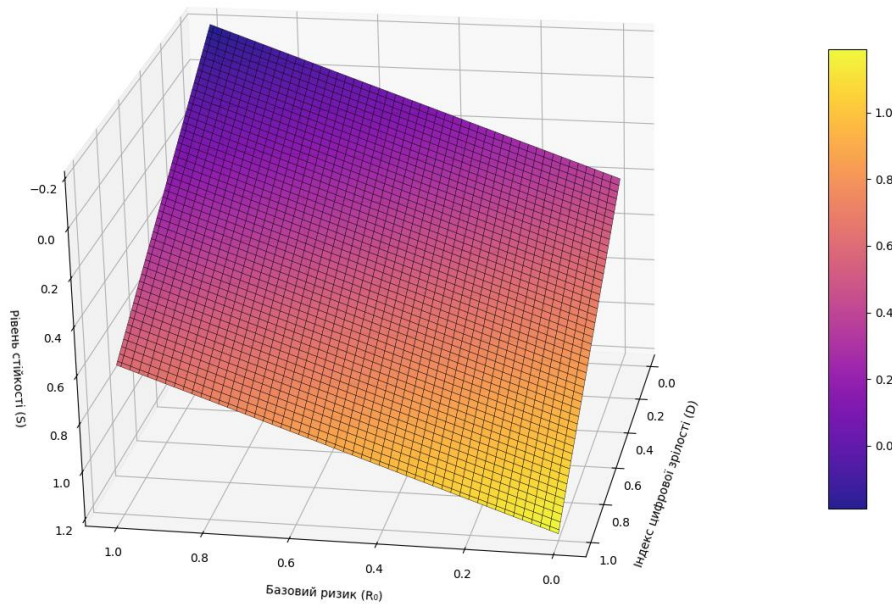


Рисунок 4.11 – Залежність рівня стійкості об’єкта критичної інфраструктури (Жабинецької ГЕС) від цифрової зрілості та ризику

Також спостерігається, що при низькому значенні цифрової зрілості $D < 0.2$ та високому рівні ризику $R_0 > 0.8$, рівень стійкості падає нижче порогового значення $S < 0.2$, що свідчить про критичну вразливість ГЕС. Натомість при цифровій зрілості $D > 0.7$ та ризику $R_0 < 0.3$ рівень стійкості ГЕС перевищує 0.8, що свідчить про ефективність цифрових інтервенцій.

Це підтверджує доцільність впровадження цифрових рішень під час реалізації проекту розвитку Жабинецької ГЕС як основного засобу зміцнення систем критичної інфраструктури в умовах невизначеності.

На останньому етапі пропонується інтеграція цифрової інфраструктури в управлінську систему. Після верифікації ефективності обраного набору цифрових рішень, виконано інтеграцію інструментів у поточну управлінську інфраструктуру:

- система управління об’єктом (оператор ГЕС);
- локальні органи влади (відповідальні за оповіщення);
- підрозділи ДСНС.

Таким чином, запропонований метод дозволив системно оцінити ризики, врахувати цифрову зрілість об’єкта критичної інфраструктури

(Жабинецької ГЕС), обґрунтувати доцільність впровадження конкретних цифрових рішень і забезпечити підвищення рівня стійкості ГЕС у складному проєктному середовищі із наявністю ризиків.

Для менеджерів, які управляють проєктами розвитку критичної інфраструктури, реалізація запропонованого методу дає можливість сформувати структуровану матрицю відповідальності та встановити протоколи обміну даними, що забезпечує безперервне функціонування ГЕС навіть у разі виникнення позаштатних ситуацій.

Управлінська цінність розробленого методу полягає в інтеграції ризик-орієнтованого аналізу із цифровими трансформаціями, що дає змогу системно оцінити поточні та потенційні загрози, визначити рівень цифрової зрілості об'єкта, аргументувати доцільність впровадження конкретних технологічних рішень і забезпечити підвищення стійкості ГЕС як результат стратегічного управління проєктами їх розвитку в умовах невизначеності.

4.5. Рекомендацій для проєктних менеджерів щодо управління ризиками проєктів розвитку гідроелектростанцій

Управління ризиками у проєктах розвитку гідроелектростанцій вимагає системного підходу з урахуванням багатьох змінних факторів проєктного середовища. Проведене моделювання різних конфігурацій ризикових сценаріїв дозволяє сформулювати практичні рекомендації, які можуть бути безпосередньо застосовані проєктними менеджерами у процесі планування, реалізації та контролю проєктів.

По-перше, результати аналізу свідчать про вирішальну роль підготовленості персоналу та рівня залученості стейкхолдерів у забезпеченні стабільності проєктів. Високий рівень кваліфікації команди дозволяє суттєво знижувати залишковий ризик навіть за підвищеного рівня загроз. Залучення стейкхолдерів до процесу управління проєктом підвищує рівень узгодженості

дій, ефективність реагування на непередбачувані події та забезпечує додаткові резерви підтримки у кризових ситуаціях.

По-друге, необхідно враховувати нелінійність ефекту інвестування у підготовку персоналу – після досягнення порогового рівня кваліфікації подальші вкладення приносять поступово меншу віддачу. Таким чином, рекомендується проводити періодичну оцінку доцільності розширення програм навчання з урахуванням поточного рівня компетенцій та специфіки проєкту.

По-третє, результати моделювання дозволяють класифікувати типові управлінські сценарії для різних конфігурацій ризикового профілю. Це дає змогу на етапі планування заздалегідь закладати необхідні механізми реагування в залежності від очікуваних рівнів загроз та ресурсних можливостей проєкту.

На основі проведених розрахунків узагальнимо основні орієнтири для ухвалення управлінських рішень у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Рекомендаційна матриця управління ризиками розвитку гідроелектростанцій за різних конфігурацій їх проєктного середовища

Сценарій проєктного середовища	Рекомендований сценарій дій	Основні управлінські дії
Базовий	Превентивний	Підтримка кваліфікації персоналу, регулярний аудит, оновлення планів безпеки
Підвищений воєнний ризик	Адаптивний	Резервування ресурсів, актуалізація планів реагування, розширення навчання персоналу
Кібератака + природні ризики	Адаптивний	Зміцнення кіберзахисту, моніторинг природних загроз, диверсифікація систем життєзабезпечення
Критичний сценарій	Антикризовий	Повне залучення резервів, залучення кризових команд, розгортання аварійних систем забезпечення

Аналіз наведеної матриці (табл. 4.6) вказує на те, що для базових умов проєктного середовища проєктів розвитку гідроелектростанцій доцільно дотримуватись превентивної тактики з акцентом на підтримку кваліфікації персоналу та систем моніторингу. В умовах загострення політичних чи воєнних ризиків акцент зміщується до адаптивних моделей управління з гнучкою корекцією планів. Для особливо складних критичних ситуацій необхідне антикризове залучення всіх доступних ресурсів, у тому числі розгортання спеціалізованих оперативних груп реагування.

Таким чином, запропоновані рекомендації щодо підтримки прийняття управлінських рішень дозволяють проєктним менеджерам оперативно оцінювати стан ризиків і формувати обґрунтовані стратегії управління у динамічному проєктному середовищі проєктів розвитку гідроелектростанцій.

Висновки до розділу 4

1. Запропоновані алгоритм, який передбачає 10 кроків, та система підтримки прийняття управлінських рішень для тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, базуються на запропонованій моделі тактичного управління ризиками та реалізують її у вигляді інтерактивного десктопного додатку. Тестування системи підтримки прийняття управлінських рішень підтвердило її високу точність. Встановлено, що загальна точність розрахунків становить 98.4%, а повторюваність результатів – 98.8%. Така ефективність дає підстави рекомендувати використання цього інструментарію для управління ризиками на етапах планування та реалізації інфраструктурних проєктів в умовах невизначеності.

2. На підставі використання розробленої система підтримки прийняття рішень для тактичного управління ризиками інфраструктурних проєктів виконано моделювання, результати якого продемонстрували суттєвий вплив конфігурацій проєктного середовища на рівень ризику та

ймовірність успішності проєктів розвитку гідроелектростанцій. Встановлено, що за базового сценарію стану проєктного середовища інтегральний ризик становив 0.37, а залишковий – лише 0.06, що забезпечило ймовірність успіху на рівні 76.5%. У разі підвищеної воєнної загрози ризик зростає до 0.48/0.20, а ймовірність успіху проєктів знижувалась до 45.6%. За комбінованого сценарію кіберзагроз і природних ризиків, інтегральний ризик сягає 0.53 при залишковому 0.11, з відповідною ймовірністю успіху проєкту 64.2%. Найгірші показники зафіксовано для критичного сценарію, де ризик 0.76/0.30, ймовірність успіху проєкту – 33.5%. Це підтверджує необхідність адаптивного управління ризиками в умовах динамічного середовища.

3. Практична реалізація моделі формування стратегії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій продемонструвала її високу прикладну цінність. Встановлено, що у базовому сценарії реалізації проєкту реконструкції Касперівської ГЕС очікувані збитки становлять 68,6 млн грн, тоді як у песимістичному сценарії 92 млн грн. Найбільшу частку ризиків у структурі становлять технічні (40 млн грн) та екологічні (35 млн грн) загрози, що підтверджує потребу у системному моніторингу стану гідроспоруд та довкілля. За результатами розрахунків встановлено, що оптимальний обсяг страхового резерву для забезпечення фінансової стійкості проєкту реконструкції Касперівської ГЕС становить не менше 70 млн грн. Це дозволяє гарантувати стабільність навіть у випадку реалізації критичних ризикових сценаріїв реалізації проєкту та свідчить про ефективність запропонованої моделі управління.

4. На підставі використання запропонованого методу оцінки стійкості проєктів розвитку гідроелектростанції для заданого проєктного середовища (Жабинецької ГЕС) в умовах невизначеності та цифровізації управлінських процесів підтверджено ефективність розробленого інструментарію. Встановлено, що інтегральний показник стійкості після впровадження цифрових рішень досяг значення 0.6135, перевищивши встановлений цільовий поріг 0.6, що вказує на стабільну роботу Жабинецької

ГЕС в умовах ризику. Разом з тим, у випадках низької цифрової зрілості ($D < 0.2$) та високого ризику ($R_o > 0.8$), рівень стійкості різко знижується до значення нижче 0.2, що свідчить про критичну вразливість об'єкта. У протилежному випадку, за високої цифрової зрілості ($D > 0.7$) та зниженого ризику ($R_o < 0.3$), стійкість ГЕС перевищує 0.8, демонструючи доцільність цифрових інтервенцій для забезпечення безпеки критичної інфраструктури.

5. На основі розробленої рекомендаційної матриця управління ризиками розвитку гідроелектростанцій за різних конфігурацій їх проектного середовища та сценаріїв дій сформульовано практичні рекомендації для проектних менеджерів. Зокрема, у стабільних умовах варто дотримуватись превентивної стратегії з фокусом на підвищення кваліфікації персоналу та удосконалення систем моніторингу. За умов посилення воєнних чи політичних ризиків слід переходити до адаптивного управління проектами з корекцією планів. У критичних ситуаціях слід впроваджувати антикризові заходи із залученням усіх наявних ресурсів. Розроблений інструментарій для ризик менеджменту об'єктів критичної інфраструктури (на прикладі гідроелектростанцій) забезпечує гнучке та обґрунтоване управління ризиками в умовах динамічного проектного середовища їх розвитку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У дисертації розв'язується важлива науково-прикладна задача підвищення ефективності управління ризиками у проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів шляхом розроблення моделей і методів тактичного ризик-менеджменту, які базуються на процесах цифрового управління змінами проєктного середовища та формування стратегій забезпечення стійкості об'єктів в умовах невизначеності.

Основними науково-практичними результатами дисертації є:

1. Проведений аналіз стану теорії та практики управління ризиками в проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах цифровізації та невизначеності дозволив встановити потребу у створенні нових і вдосконаленні наявних моделей та методів для ініціювання і планування соціальних проєктів, спрямованих на розвиток громад. Встановлено, що доцільним є розроблення інструментарію тактичного ризик-менеджменту, який повинен базуватися на цифровому моніторингу змін проєктного середовища, що забезпечить адаптивне управління ризиками в проєктах розвитку інфраструктурних об'єктів, зокрема гідроелектростанцій, стійкість їх функціонування в умовах невизначеності та гібридних загроз.

2. Обґрунтовано теоретико-методологічні засади ризик-менеджменту в системах управління проєктами розвитку об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності та цифрової трансформації. Встановлено, що врахування ризиків та використання для цього цифрових технологій сприяє розробленню ефективних моделей та методів, які підвищують точність прийняття управлінських рішень. Зокрема, адаптація інструментів ризик-менеджменту до умов підвищеної невизначеності та багатофакторності проєктного середовища впродовж усіх фаз життєвого циклу проєкту, дозволяє своєчасно реагувати на зміни проєктного середовища, мінімізувати негативні наслідки ризикових подій і забезпечувати стійкий розвиток об'єктів критичної інфраструктури.

3. Розроблено модель тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, яка передбачає врахування сучасних гібридних загроз і динамічного проєктного середовища, передбачає використання системного підходу до ідентифікації, оцінки та розроблення реакцій на ризики, що забезпечує інтеграцію цифрових рішень у тактичний рівень управління інфраструктурними проєктами та дає можливість підвищити стійкість об'єктів до кризових та воєнних впливів. Запропонований метод підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в умовах невизначеності передбачає виконання 6 етапів, базується на цифровізації управлінських процесів, які забезпечують зростання стійкості об'єктів критичної інфраструктури за умов невизначеності, а також передбачає поєднання цифрових інструментів із просторовим аналізом ризиків, що дозволяє не лише локалізувати вразливі зони, але й адаптивно реагувати на загрози в режимі реального часу за динамічного проєктного середовища.

4. Удосконалено концептуальну модель цифрового управління змінами у проєктах розвитку об'єктів критичної інфраструктури, яка базується на поєднанні цифрових технологій з класичними процесами управління, що забезпечує цілісне охоплення всіх етапів адаптації інфраструктурних проєктів до динамічного середовища, і на відміну від існуючих моделей дозволяє вчасно реагувати на зміни проєктного середовища, знижувати вплив ризиків і підвищувати ефективність реалізації зазначених проєктів. Також удосконалено модель формування стратегії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку гідроелектростанцій, яка передбачає використання цілісної проєктно-орієнтованої системи управління, що на відміну від існуючих моделей дає можливість виконати інтеграцію різних управлінських рівнів і взаємодії основних стейкхолдерів, що лежить в основі зменшення ризиків реалізації проєктів, підвищення прозорості процесів і забезпечення стійкого розвитку гідроелектростанцій в умовах невизначеності.

5. Розроблені алгоритм та система підтримки прийняття управлінських рішень для тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах базуються на запропонованій моделі тактичного управління ризиками та реалізують її у вигляді інтерактивного десктопного додатку. Тестування системи підтримки прийняття управлінських рішень підтвердило, що загальна точність розрахунків становить 98.4%, а повторюваність результатів – 98.8%. Така ефективність дає підстави рекомендувати використання цього інструментарію для управління ризиками на етапах планування та реалізації інфраструктурних проєктів в умовах невизначеності.

6. Завдяки використанню запропонованого інструментарію проведено апробацію запропонованих моделей і методів на прикладах проєктів розвитку гідроелектростанцій та обґрунтовано рекомендації для проєктних менеджерів щодо управління ризиками проєктів розвитку гідроелектростанцій. Встановлено, що найкращі показники ризику спостерігаються за базового сценарію стану проєктного середовища, де інтегральний ризик становить 0.37, а залишковий – лише 0.06, що забезпечує ймовірність успіху проєкту на рівні 76.5%. Найгірші показники зафіксовано для критичного сценарію, де ризик 0.76/0.30, ймовірність успіху проєкту – 33.5%. Це підтверджує необхідність адаптивного управління ризиками в умовах динамічного середовища. За результатами розрахунків встановлено, що оптимальний обсяг страхового резерву для забезпечення фінансової стійкості проєкту реконструкції Касперівської ГЕС становить не менше 70 млн. грн. Це дозволяє гарантувати стабільність навіть у випадку реалізації критичних ризикових сценаріїв реалізації проєкту та свідчить про ефективність запропонованої моделі управління. Розроблений інструментарій для ризик менеджменту об'єктів критичної інфраструктури (на прикладі гідроелектростанцій) забезпечує гнучке та обґрунтоване управління ризиками в умовах динамічного проєктного середовища їх розвитку.

7. У практичну діяльність Департаменту з питань оборонної роботи, цивільного захисту населення та взаємодії з правоохоронної роботи Тернопільської обласної державної адміністрації впроваджено методику та рекомендації щодо управління ризиками проєктів розвитку об'єктів критичної інфраструктури з урахуванням цифровізації управлінських процесів та підвищення стійкості до дії зовнішніх загроз. Встановлено, що запропонований інструментарій дає можливість знизити ризик на 18,2%, підвищити успіх реалізації проєктів на 12,3% та стійкість ГЕС на 14,3%. Впроваджений у практику інструментарій для проєктних менеджерів підтверджує його ефективність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бакуліч О. О., Севост'янова А. В. Концептуальна модель балансу ризиків (можливостей та загроз) стейкхолдерів проєктів вітроенергетики. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2019. № 3 (55). С. 143–150.
2. Богоніс А. Вплив цифровізації на забезпечення інформаційної безпеки: нові загрози в системі державного управління. *Теоретичні та прикладні питання державотворення*. 2024. №. 31. Р. 31–37. DOI: <https://doi.org/10.35432/tisb312024306534>
3. Бушуєв С. Д., Ярошенко Р.Ф. Креативні моделі як інструмент розвитку складних систем. *Управління розвитком складних систем: зб. наук. праць КНУБА*. К., 2011. Вип. 5. С. 10–12.
4. Бушуєв С. Д., Бушуєв Д. А., Козир Б. Ю. Зміна парадигм в управлінні інфраструктурними проєктами і програмами. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 37. С. 6–12.
5. Бушуєв С. Д., Козир Б. Ю. Інноваційні механізми управління програм розвитку морських транспортних кластерів. *Управління розвитком складних систем*. 2011. Вип. 7. С. 5–7.
6. Бушуєв С.Д., Бушуєв Д.А., Бушуєва В.Б., Козир Б.Ю. Лідерство у застосуванні гнучких методологій управління проєктами створення інформаційних технологій. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2019, Том 70, № 2. С. 1–15.
7. Бушуєва Н. С., Черниш О. В. Менеджмент проєктів сталого розвитку неприбуткових організацій в ризиковому оточенні. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 55. С. 12 – 17, URL: <http://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.12-17>
8. Васильєва Н., Приліпко С., Васильєва О., Шевченко Н. Пріоритетні напрями повоєнного екологічного відновлення як складової сталого розвитку українських територій. *Науковий вісник державне*

управління. 2024. № 1(15). Р. 133–145. DOI: [https://doi.org/10.33269/2618-0065-2024-1\(15\)-133-145](https://doi.org/10.33269/2618-0065-2024-1(15)-133-145)

9. Воркут Т. А., Білоног О. Є., Дмитриченко А. М. Маркетинговий аналіз проєктів: *курс лекцій*. Київ : Пролог, 2014. 204 с.

10. Гогунський В., Бочковський А., Москалюк А., Колесніков О., Баб'юк С. Розробка системи ініціації проєктів з використанням ланцюга Маркова. *Східно-Європейський журнал підприємницьких технологій*. 2017, 1 (3 (85)). С. 25–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.90971>

11. Данченко О. Б. Огляд сучасних методологій управління ризиками в проєктах. *Управління проєктами та розвиток виробництва*, 2014, № 1(49). С. 16–25.

12. Данченко О. Б., Лепський В. В. Сучасні моделі та методи управління проєктами, портфелями проєктів та програмами. *Управління проєктами та розвиток виробництва*, 2017, № 29. С. 46–54.

13. Демчина В. Р., Зачко О.Б. Моделі управління безпекою транспортних інфраструктурних проєктів. *Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Львів, 12-13 жовтня 2022 року*. Львів, ЛДУ БЖД, 2022. С. 501–503.

14. Денчик О. Р. Модель інтегрованого управління ризиками проєктів агропромислового комплексу. *Управління розвитком складних систем: зб. наук. праць*. Київ: КНУБА, 2019. № 37. С. 18–24.

15. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>

16. ДСТУ ISO 21502:2022 Управління проєктами, програмами та портфелями – Настанови щодо управління проєктами. URL: <https://pmdoc.ua/iso/iso21502/>

17. Загальна сума прямих збитків, завдана інфраструктурі України через війну [Електронний ресурс]. *Kyiv School of Economics*. 2023. URL:

<https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-pryamih-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-cherez-viynu-syagaye-151-2-mlrd-otsinka-stanom-na-1-veresnya-2023-roku/>

18. Зачко І. Г., Кобилкін Д. С., Зачко О. Б. Гібридні технології управління інфраструктурними проектами та програмами: монографія. Львів: СПОЛОМ, 2022. 266 с.

19. Зачко О. Б. Методологічний базис безпеко-орієнтованого управління проектами розвитку складних систем. *Управління розвитком складних систем*. К. : КНУБА. 2015. Вип. 23 (1). С. 51–55.

20. Зачко О. Б. Моделі та методи безпеко-орієнтованого управління проектами розвитку складних систем: методологічний підхід. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. № 2 (1174). С. 86–90.

21. Зачко О. Б., Івануса А.І., Кобилкін Д.С. Управління проектами: теорія, практика, інформаційні технології. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. 173 с.

22. Зачко О.Б. Інтелектуальне моделювання параметрів продукту інфраструктурного проекту (на прикладі аеропорту «Львів»). *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. № 1/10 (61). С. 92–94.

23. Зачко О.Б. Методологічний базис безпеко-орієнтованого управління проектами розвитку складних систем. *Управління розвитком складних систем*. 2015. № 23 (1), С. 51–55.

24. Іванова Н. Розробка аналітичної системи управління економічною безпекою підприємства в цифровому середовищі. *Таврійський науковий вісник. серія економіка*. 2024. № 20. С. 109–119. DOI: <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2024.20.12>

25. Івануса А. І., Яковчук Р. С., Ємельяненко С. О., Івануса З. З. Управлінські та інформаційні особливості проекту безпечної експлуатації спортивно-видовищних споруд. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 8. С. 134–141. DOI: <https://doi.org/10.36930/40290825>

26. Касьянова Н. В., Яцюк С. С. Управління ризиками інноваційного проєкту. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2019. Т. 30 (69), № 3. С. 84–89.

27. Кобилкін Д.С., Павук І.В. Моделювання процесів тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2023. № 28. С. 14–23.

28. Коваль Н.Я., Кондисюк І.В., Тригуба А.М. Алгоритм навчання нейронної мережі для планування часу виконання робіт у гібридних проєктах. Молодь у світі сучасних технологій за тематикою: *Сучасні інформаційні технології: стан та перспективи розвитку : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (4 червня 2021 р., м. Херсон) / за заг. ред. Г.О. Райко*. Херсон: Вишемирський В. С., 2021. С. 153–156.

29. Ковальчук О. І., Зачко О. Б., Кобилкін Д. С. Моделі і методи проєктування організаційної структури віртуальної команди. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 50. С. 5 – 12. URL: <http://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.50.5-12>

30. Ковальчук О., Кобилкін Д., Павук І. Управління проєктами в епоху штучного інтелекту та гнучких методологій. *Інформаційні системи в управлінні проєктами та програмами*. Коблево, 9–13 вересня 2024 р. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: ХНУРЕ, 2024. С. 119–121.

31. Когут І. В., Когут Е. А. Експертна оцінка ризиків на прикладі проєкту реконструкції не експлуатованих приміщень бізнес-центру. *Підприємництво та інновації*. 2023. № 27. С. 49–53.

32. Кравчук О., Варіс І., Рубель К. Цифровізація менеджменту персоналу: концептуальні аспекти та тенденції. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія економіка та управління*. 2024. № 12. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2024-12-07-04>

33. Легкий С. Цифрова трансформація суспільства як основа реалізації концепції смарт-міста. *Наукові перспективи*. 2024. № 2(44). DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-2\(44\)-353-362](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-2(44)-353-362)
34. Ловкайтес В. Сутність цифровізації як нової моделі розвитку підприємств. *Актуальні питання у сучасній науці*. 2024. № 4(22). DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-4\(22\)-147-160](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-4(22)-147-160)
35. Луняк В.Е. Наукові підходи до вдосконалення механізмів державної політики у сфері цифровізації правового регулювання в Україні. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2023. № 4(83). Р. 161–164. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.4.23>
36. Методології управління проектами. URL: <https://www.staff.ua/uk/bloh/metodologiji-upravlinnya-proektom>
37. Міністерство освіти і науки України. URL: <https://mon.gov.ua/>
38. Міністерство розвитку громад та територій України: Офіційний сайт. URL: <https://mindev.gov.ua/>
39. 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%20що до%20аспектів%20управління%20ризиками.pdf
40. Морозов, В. В., Чумаченко І. В., Доценко Н. В., Чередніченко А. М. Управління проектами: процеси планування проектних дій: підручник. К.: Університет економіки та права «КРОК», 2014. 673 с.
41. Мосур І., Polivoda O., Rudakova H., Поливода В. Моделювання методів розміщення технічного обладнання підсистеми збору даних при дистанційному моніторингу землеробства на основі IoT. *Applied Questions of Mathematical Modeling*. 2023. Vol. 4(2.1). Р. 170–178. DOI: <https://doi.org/10.32782/kntu2618-0340/2021.4.2.1.18>
42. Павук І., Кобилкін Д. Особливості формування життєвого циклу інфраструктурних проектів в умовах ризиків. *Проблеми та перспективи*

розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2024. С. 376–378.

43. Павук І.В., Кобилкін Д.С. Особливості формування концепції управління проєктними ризиками на об'єктах критичної інфраструктури. Інновінг сучасних трендів в менеджменті безпеки: *Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції*. Львів: ЛДУ БЖД, 26 травня 2023. С. 59–60.

44. Павук І.В., Кобилкін Д.С., Ковальчук О.І. Особливості формування проєктів захисту критичної інфраструктури в умовах воєнного стану. *РМ Київ 2024 «Управління проєктами у розвитку суспільства». Тема: «Управління проєктами післявоєнної розбудови України»*: тези доповідей / відповідальний за випуск С.Д.Бушуєв. Київ: КНУБА, 2024. С. 120–124.

45. Панчишин Т., Вдовин М. Компоненти сталого розвитку територіальних громад та регіонів в умовах суспільно-політичних викликів. *Економіка та суспільство*, 2023. 50 с. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-23>

46. Пітерська В. М. Застосування проєктно-орієнтованого підходу в управлінні інноваційною діяльністю. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2016. № 1 (1173). С. 35–42.

47. Плахотнюк Р. Безпекові параметри функціонування об'єктів критичної інфраструктури в умовах особливого періоду економіки. *Інвестиції: практика та досвід*. 2024. № 19. С. 219–224. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.19.219>

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

49. 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. 188 с.

50. Пушак Я. Я., Хаустова В. Є., Трушкіна Н. В. Безпекова стратегія розвитку критичної інфраструктури в умовах повоєнної відбудови економіки України. *Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ (серія економічна)*. 2023. Т.1. С. 68–78. <https://doi.org/10.32782/2311-844x/2023-1-10>

51. Р2М: Управління проектами та програмами: Версія 1.2: Посібник з управління інноваційними проектами та програмами підприємств. за ред. проф. Бушуєва С.Д. К.: Науковий світ, 2009. Т.1. 198 с.

52. Рак Ю. П., Зачко О. Б., Кобилкін Д. С., Головатий Р. Р. Безпеко-орієнтоване управління регіональними проектами захисту критичних інфраструктур засобами системи 112. *Управління проектами та розвиток виробництва* : зб. наук. пр. Луганськ : вид-во СНУ ім. В. Даля. 2016. № 1 (57). С. 49–55.

53. Рак Ю. П., Ковалишин В. В., Зачко О. Б., Барабаш І. Г., Івануса А. I. Information technologies in strategic management of vital activity safety project portfolios. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2012. 1(5(49), 42–44. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2011.2360>

54. Ратушний Р.Т. Методологія портфельно-гібридного управління розвитком територіальних систем безпеки : автореф. д-ра техн. наук.: 05.13.22. Київ, 2020. 44 с.

55. 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.

56. Сидорчук О.В., Тригуба А.М. Чинникова модель цінності систем-продуктів державних цільових програм розвитку сільськогосподарського виробництва. *Управління проектами, системний аналіз, логістика. Технічна серія*. К.: Національний транспортний університет. 2014. №13(1). С. 155–161.

57. Сидорчук О.В., Тригуба А.М., Михалюк М.А., Рудинець М.В. Особливості управління проектами розвитку технологічно інтегрованих систем агропромислового виробництва. *Тези доп. IV-ї Міжн. конф. Управління проектами у розвитку суспільства: Управління проектами в умовах глобалізації знань*. К.: КНУБА, 2007. С.137–138.

58. Сиротін В. Сутність та особливості цифровізації у сфері публічного управління. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія право. Публічне управління та адміністрування*. 2023. № 8. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5746-2023-8-02-05>

59. Содома Р.І., Павук І.В., Кобилкін Д.С. Безпеко-орієнтоване управління ресурсами в реалізації інфраструктурних проєктів. *Електронний журнал «Інфраструктура ринку»*. 2024. №79. С. 178–183.

60. Старченко, Г. Принципи проєктно-орієнтованого управління інноваційним розвитком національної економіки. *Економіка та суспільство*, 2021. 27 с. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-27-4>

61. Сухонос М.К. Методологія дуального управління портфелями енергоінфраструктурних проєктів в умовах динамічного оточення : дис. ... док. тех. наук : 05.13.22. Харків, 2013.

62. Тесля Ю. М., Тімінський О. Г. Аналіз підходів до побудови біадаптивних систем управління проєктно-орієнтованими підприємствами. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. № 2(3). С. 38–42.

63. Тригуба А. М. Системно-проєктні основи управління розвитком технологічних структур виробництва молочної продукції : дис. докт. техн. наук: 05.13.22. 2017. 516 с.

64. Тригуба А. М., Демчина В. Р. Підхід до збору даних для реалізації проєктів розвитку транспортної інфраструктури у післявоєнний період на основі фреймворку OpenStreetMap. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2024) [Збірник матеріалів XVI

Міжнародної науково-практичної конференції (29–31 травня 2024 р., м. Одеса)]. Одеса: Херсонська державна морська академія, 2024. С. 258–261.

65. 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.

66. 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. В. 29. С. 141–151. <https://doi.org/10.32447/20784643.29.2024.15>

67. 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. 18.

68. 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. В. 28. 44–54. <https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.05>

69. Тригуба А., Кондисюк І., Коваль Н., Тригуба І., Боярчук Ок., Боярчук Ол. Планування часу виконання робіт у гібридних проєктах. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами* : зб. наук. праць. Харків : НТУ "ХПІ", 2022. № 2 (6). С. 64–71.

70. Тригуба А., Маланчук О., Тригуба І., Мармуляк А., Демчина В. Андрушків О., Олійник Р. Вплив сучасних інформаційних технологій на процеси ініціації та планування проєктів розвитку громад та регіонів. Вісник Львівського національного університету природокористування: агроінженерні дослідження. № 28. Львів: Львів НУП, 2024. С. 148–158. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.148>.

71. Тригуба А., Пташник В., Татомир А., Коваль Н.Я., Кондисюк І.В. Використання штучних нейронних мереж для прогнозування складових гібридних проєктів. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*: матеріали ХХІІ Міжнародного науково-парктичного форуму, 5-7 жовтня 2021р.: у 2 т. Львів: ННБК «АТБ», 2021. Т.2. С. 96–100.

72. Тригуба А., Тригуба І., Фтома О., Кондисюк І., Коваль Н. Системний підхід до оцінення ризиків несвоєчасного виконання робіт в інтегрованих проєктах. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. №23. Львів: Львів НАУ, 2019. С. 123–130.

73. Тригуба А.М., Мармуляк А., Маланчук О.М., Тригуба І.Л. Вплив цифрової трансформації громад на ініціацію та планування соціальних проєктів. *Управління розвитком складних систем*. 2024. 57. С. 130–136. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.24.2021.17>

74. Тригуба А.М., Ратушний Р.Т., Кондисюк І., Коваль Н. Рівні та особливості моделювання гібридних проєктів розвитку територіальних систем. *Управління проєктами: стан та перспективи*: матеріали ХVІ Міжнар. конф. Миколаїв: НУК, 2020. С. 74–75.

75. Трушкіна Н. Цифрова стратегія розвитку критичної інфраструктури: бібліометричний та трендовий аналіз. *International Science Journal of Management Economics & Finance*. 2024. Vol. 3(4). P. 79–100. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20240304.08>

76. Чернов С.К., Титов С.Д., Чернова Л.С. Оптимізаційна модель управління транспортною логістикою в умовах післявоєнного відновлення.

Тези доповідей XXI Міжнародної конференції «Управління проектами у розвитку суспільства». Відповідальний за випуск С.Д.Бушуєв. Київ: КНУБА, 2024. С. 250–254.

77. Шахов А. В., Пітерська В. М. Оцінка ризиків в інноваційних проєктах методом достовірних еквівалентів. *Вісник Національного технічного університету "ХПИ"*. Серія : Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами. 2017. № 2. С. 35–40.

78. Шматько Н., Кармінська-Белоброва М. Аналіз сучасних методів та підходів до управління ризиками на підприємстві. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (економічні науки)*. 2023. № 1. С. 26–32.

79. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Sixth Edition. USA: PMI, 2017. 756 p.

80. Abeyssekara B. Application of fuzzy set theory to evaluate large scale transport infrastructure risk assessment and application of best practices for risk management. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. IEEE, 2020. P. 385–389.

81. Ahmed M. N., Mohammed S. R. Developing a risk management framework in construction project based on agile management approach. *Civil Engineering Journal*. 2019. Vol. 5, No. 3. P. 608–615.

82. All-Ukrainian Association of Local Self-Governing Bodies «Ukrainian Association of District and Oblast Councils». URL: <https://www.uaror.org.ua/> (дата звернення: 14.02.2024).

83. Ang K. C. Risk Management for Build, Operate and Transfer Infrastructure Project during Construction Stage: Doctoral dissertation. *Tunku Abdul Rahman University College*, 2020.

84. Association of Cities of Ukraine. URL: <https://auc.org.ua/> (дата звернення: 15.08.2025).

85. 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.
86. Borshchevskiy V., Vasylytsia O., Matvieiev Y. Public management under martial law: institutional transformations, strategic planning and development mechanisms. States and Regions. *Series Public Administration*. 2022. No. 2. P. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.32840/1813-3401.2022.2.5>
87. Bushuiev D., Kozyr B. Hybrid infrastructure project management methodologies. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. 1 (11). 35–43. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.035>
88. Bushuyev S., Bushuiev D., Bushuieva V. Interaction Multilayer model of Emotional Infection with the Earn Value Method in the Project Management Process. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*. 2020. Vol. 2. P. 146–150.
89. Bushuyev S., Chumachenko I., Galkin A., Bushuiev D., Dotsenko N. Sustainable Development Projects Implementing in BANI Environment Based on AI Tools. *Sustainability*, 2025. 17 (6), 2607. <https://doi.org/10.3390/su17062607>
90. Bushuyev S., Verenysh O. The Blended Mental Space: Mobility and Flexibility as Characteristics of Project/Program Success, in: *13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 2018. 2. P. 148–151.
91. Bushuyev S., Babayev I., Babayev J., Kozyr B. Complementary Neural Networks for Managing Innovation Projects 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, *ATIT 2019 - Proceedings*, 2019, P. 393–396.
92. Bushuyev S., Bushuiev D., Bushuieva V. Interaction Multilayer model of Emotional Infection with the Earn Value Method in the Project Management Process 2020 *IEEE 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2020 - Proceedings*, 2020, 2, P. 146–150.

93. Bushuyev S., Bushuiev D., Bushuieva V., Bushuyeva N., Murzabekova S. The Erosion of Competencies in Managing Innovation Projects due to the Impact of Ubiquitous Artificial Intelligence Systems. *Procedia Computer Science*, 2024. 231. P. 403–408.

94. Chernova L., Zhuravel A., Chernova L., Kunanets N., Artemenko O. Application of the Cognitive Approach for IT Project Management and Implementation. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*. 2022. 2022- November. P. 426–429.

95. Chumachenko I. V., Galkin A. S., Davidich N. V., Kush E. I. Regularities of formation of needs in movements at development of projects of transport systems of cities. *Municipal utilities. Series: Technical Sciences and Architecture*. 2019. 3. 144–151.

96. Davidich N., Galkin A., Iwan S., Chumachenko I., Kijewska K., Davidich Y. Monitoring of urban freight flows distribution considering the human factor. *Sustainable Cities and Society*. 2021. Article 103168.

97. Domanskyi V., Wolff C., Sachenko A., Badasian A. A Hybrid Method for Managing Agile Team in a Distributed Environment. Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, *IDAACS 2021*, 2021, 1, P. 247–251.

98. Dotsenko N., Chumachenko D., Chumachenko I. Project-Oriented Management of Adaptive Commands Formation Resources in Multi-Project Environment. *CEUR Workshop Proceedings*, 2019. 2353. P. 911–923. <https://ceur-ws.org/Vol-2353/paper72.pdf>

99. Dotsenko N., Chumachenko D., Chumachenko I., Galkin A., Lis T., Lis M. Conceptual framework of sustainable management of the process of forming a project team with functional redundancy. *Energies*. 2021. Article 8235.

100. Dreyfus D., Nair A. The impact of operational disruptions on performance in surgical settings: moderating roles of risk management

infrastructure and information exchange. *International Journal of Operations & Production Management*. 2022. Vol. 42, No. 7. P. 930–958.

101. Dubnevych Yu., Sodoma R., Dubnevych N. Socio-economic development of the united territorial community within the conditions of financial decentralization. *Scientific Papers Series “Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development”*. 2021. P. 241–251.

102. International Project Management Association. Individual competence baseline for project, programme & portfolio management (4th ed.). International Project Management Association. 2015. P. 432.

103. IPMA. Individual Competence Baseline (ICB). Version 4.0 for Project, Programme & Portfolio Management [Електронний ресурс]. IPMA, 2015. 431 p. URL: <http://products.ipma.world/ipma-product/icb/read-icb/>

104. ISO 21500:2012. Guidance on Project Management URL: www.mosaicprojects.com.au/PDF/ISO_21500_Communique_No1.pdf

105. ISO 21500:2012. Guidance on project management. Project Committee ISO/PC 236. 2012. 36 p.

106. Isus R., Kolesnikova K., Khlevna I., Oleksandr T., Liubov K. Development of a model of personal data protection in the context of digitalization of the educational sphere using information technology tools. *Procedia Computer Science*. 2024, 231, 347-352. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.215>

107. Ivanusa A., Marych V., Kobylkin D., Yemelyanenko S. Construction of a visual model of people’s movement to manage safety when evacuating from a sports infrastructure facility. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 2, No. 3 (122). P. 28–41.

108. Jovanović J., Mosurović M., Berić I. Risk as a Factor of Decision Making in Projects Financing of Infrastructure Projects. *European Project Management Journal*. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 11–17.

109. Kendrick T. Identifying and Managing Project Risk. AMACOM, 2003. P. 354.

110. Kobylkin D., Zachko O., Ratushny R., Ivanusa A., Wolff C. Models of content management of infrastructure projects mono-templates under the influence of project changes. *In: ITPM 2021*. 2021. P. 106–115.

111. Kobylkin D.S., Pavuk I.V. Analysis of risks when planning projects to create critical infrastructure objects. *PM Kyiv 2023 «Управління проектами у розвитку суспільства». Тема: «Управління проектами післявоєнної розбудови України»: тези доповідей / відповідальний за випуск С.Д.Бушуєв*. Київ: КНУБА, 2023. С. 37–41.

112. Kobylkin D.S., Pavuk I.V. Modeling tactical risk management processes in infrastructure projects, programs and project portfolios. *Bulletin of the Lviv State University of Life Safety*, 2023. № 28. 14–23.

113. Kobylkin D., Havrys A., Rogulia A., Sodoma R., Pavuk I., Avdieyeva K., Filippova V. Safety-oriented management of protection projects of critical infrastructure objects. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*. 2025. Vol. 47. № 4. P. 537–548.

114. Kondysiuk I., Bashynsky O., Dembitskyi V., Myskovets I. Formation and risk assessment of stakeholders value of motor transport enterprises development projects. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*. 2021. 2. P. 303–306.

115. Kondysiuk I., Tryhuba A., Bashynsky O., Grabovets V., Dembitskyi V., Myskovets I. Formation and risk assessment of stakeholders value of motor transport enterprises development projects, in: *IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT-2021, IEEE*, Lviv, 2021, 2, P. 303–306. doi: 10.1109/CSIT52700.2021.9648739

116. Kononenko I., Kpodjedo M. Applying the Project Portfolio Management Maturity Level Selection Method to an Organization. *International Journal of Computing*. 2022. P. 195–204.

117. Kononenko I., Kpodjedo M., Morhun A., Oliinyk M. Information technology for choosing the project portfolio management approach and the

optimal level of maturity of an organization. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2022. 4. P.173–190. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.4.14>

118. Kononenko I., Sushko H. Mathematical model of software development project team composition optimization with fuzzy initial data. *Radioelectronic and computer systems*, 2021. P. 149–159.

119. 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. 2917. P. 196–206.

120. Koval N., Tryhuba A., Kondysiuk I., Tryhuba I., Boiarchuk O., Rudynets M., Grabovets V., Onyshchuk V. Forecasting the fund of time for performance of works in hybrid projects using machine training technologies. Proceedings of the 3rd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop. Proc. *3rd International Workshop (MoMLeT&DS 2021)*. Volume I: Main Conference. Lviv-Shatsk, Ukraine, June 5–6, 2021. P.196–206.

121. Kovalchuk O., Kobylkin D., Zachko O. Digitalization of HR-management processes of project-oriented organizations in the field of safety. In: *ITPM 2022*. 2022. P. 183–195.

122. Kovalchuk O., Zachko O., Kobylkin D. Criteria for intellectual forming a project teams in safety oriented system. In: *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2022)*. 2022. P. 430–433.

123. Kunanets N., Sokur L., Dobrovolska V., Lytvyn S. Project Activities of Shevchenko National Preserve in Informational Society, in: *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, 2021*. 2. P. 423–426.

124. Kunanets N., Vasiuta O., Boiko N. Advanced technologies of big data research in distributed information systems. 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), vol. 3, P. 71–76, September 2019. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929756

125. Kwan T. W., Leung H. K. A risk management methodology for project risk dependencies. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2011. Vol. 37. № 5. P. 635–648.

126. Martyn Y., Yakovchuk V., Prydatko O. Розробка концепції інформаційної графічної технології моделювання траєкторій обгону для пожежних автомобілів. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. 2022. Vol. 26. P. 29–39. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.26.2022.04>

127. National Council of Reforms. URL: <https://www.decentralization.ua/en/news/tag/natsionalna-rada-reform> (дата звернення: 13.11.2024).

128. OGC (Office of Government Commerce). *Managing Successful Projects with PRINCE2*. TSO (The Stationery Office), 2009. 327 p.

129. Orobey V., Nemchuk O., Lymarenko O., Pitera V., Lohinova L. Taking account of the shift and inertia of rotation in problems of diagnostics of the spectra of critical forces mechanical systems. *Diagnostyka*. 2021. Vol. 22(1). P. 39–44. <https://doi.org/10.29354/diag/132555>

130. Pavuk I., Kobylkin D. Intelligent project-oriented risk management at critical infrastructure objects. Міжнародна науково-практична конференція «Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проектами та програмами», Коблево, 12–15 вересня 2023 р. Збірник праць. Харків: ХНУРЕ, 2023. С. 36–37.

131. Petrovsky P., Обіход М. Theoretical and methodological fundamentals of public management of social services development for children and families with children in local territorial communities. *Scientific Notes of the Universitykrok*. 2020. No. 4(60). P. 68–76. DOI: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2020-60-68-76>

132. Pitera 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.

133. 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.

<https://doi.org/10.29354/diag/141313>.

134. PMbok methodology principles process PMbok methodology URL: <http://www.businessstudynotes.com/finance/project-management/pmbokmethodology-principles-process-pmbok-methodology/>

135. PMBOK vs PRINCE2 vs Agile project management. URL: https://www.cio.com.au/article/402347/pmbok_vs_prince2_vs_agile_project_management/

136. Practice Standard for Project Configuration Management. Project Management Institute, Four Campus Boulevard, Newton Square, PA 19073-3299 USA, 2007. 53 p.

137. Prince2 foundation open course. URL: <https://www.schoutenglobal.com/media/1685/prince2-foundationopen-course.pdf>

138. PRINCE2®, PMBOK®, ISO21500: в чем разница и как использовать совместно. URL: <https://cleverics.ru/digital/2015/09/prince2-pmbok-iso21500/>

139. Project archive: Public budget of Lviv. URL: <https://lviv.pb.org.ua/projects/archive/2?session>

140. Project Management Institute. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide) (6th ed.). Project Management Institute. 2017. P. 711.

141. Project management methodologies made simple. PMbok. URL: <https://thedigitalprojectmanager.com/project-management-methodologiesmade-simple/#pmbok>

142. Project management methodologies made simple. Prince 2. URL: <https://thedigitalprojectmanager.com/project-management-methodologies-madesimple/#prince2processexam.com>

143. Project management methodologies made simple. Scrum. URL: <https://thedigitalprojectmanager.com/project-management-methodologies-madesimple/#scrum>
144. Project Management Processes based on PMBOK 6th Edition. URL: <http://surl.li/bsllz>
145. Prysiazhniuk O., Plotnikova M. Удосконалення моделі управління аграрними проектами. *Agricultural and Resource Economics International Scientific E-Journal*. 2017. Vol. 3(1). P. 164–172. DOI: <https://doi.org/10.51599/are.2017.03.01.13>
146. Python data analysis in seconds. URL: <https://www.trymito.io/> (Last accessed: 15.01.2025).
147. Ratushny R., Tryhuba A., Bashynsky O., Ptashnyk V. Development and usage of a computer model of evaluating the scenarios of projects for the creation of fire fighting systems of rural communities. *XI-th International Scientific and Practical Conference on Electronics (ELIT-2019)*. 2019. P. 34–39.
148. Ratushnyi R., Khmel P., Tryhuba A., 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. 4/3 (100). P. 46–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175275>.
149. Rihar L., Žužek T., Berlec T., Kušar J. Standard Risk Management Model for Infrastructure Projects. *IntechOpen*, 2019. doi: 10.5772/intechopen.83389.
150. Ringenson, T., Höjer, M., Kramers, A. Digitalization and Environmental Aims in Municipalities. *Sustainability*, 2018. 10(4), 1278. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/4/1278>
151. Sodoma R., Dubynetska P., Kupchak M., Lesyk L., Podzizei O., Zhuk M. Financial decentralization of territorial communities in the context of the implementation of international experience. *Financial and credit activity: problems of theory and practice*. 2021. № 41. P. 100–111. URL: <https://fkd.net.ua/index.php/fkd/article/view/3554> (дата звернення: 11.04.2024).

152. Sodoma R., Kobylkin D., Pavuk I. Project-oriented management of digitization of socio-economic development of territorial communities. *Proceedings of the 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023)*. Warsaw 2023. P. 36–46.

153. Sodoma R., Kobylkin D., Shmatkovska T., Pavuk I. Management of Infrastructure Development Projects of Ukraine and Rural Areas. *Scientific Papers Series “Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development”*, 2024. Vol. 24(3). P. 821–832.

154. Sodoma R., Kohut M., Pavuk I., Kobylkin D., Balash L. Management of digitization of infrastructure projects and programs. *Proceedings of the 5th International Workshop IT Project Management (ITPM 2024)*. Bratislava 2024. P. 67–76. <https://ceur-ws.org/Vol-3709/paper6.pdf>

155. Sodoma R., Lesyk L., Hryshchuk A., Dubynetska P., Shmatkovska T. Innovative development of rural territories and agriculture in Ukraine. *Scientific Papers. Series «Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development»*. 2022. Vol. 22(4). P. 685–696.

156. Sodoma R., Lesyk L., Hryshchuk A., Dubynetska P., Shmatkovska T. Innovative development of rural territories and agriculture in Ukraine. *Scientific Papers Series «Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development»*. 2022, Vol. 22, Issue 4/2022.

157. Starodub Y., Havrys A., Ilchyshyn Y., Lavrivskyi M., Tarnavskyi A. Methodological and organizational aspects of creating a risk assessment system in the field of civil protection. *Grail of Science*. 2022. № 17. P. 164–170.

158. State Statistics Service of Ukraine. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 18.03.2024).

159. Stellman A., Greene J. Learning Agile: Understanding Scrum, XP, Lean, and Kanban. *O'Reilly Media*, 2014. 420 p.

160. Sukhanova A. Competitive advantages and strategy of regions in a set of competitiveness relations. *Investments: practice and experience*. 2015. P. 103–107.

161. Syromolot E. Деякі аспекти формування екосистеми публічного управління розвитком територій. *Таврійський науковий вісник. серія публічне управління та адміністрування*. 2024. № 4. Р. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.32782/tnv-pub.2024.4.6>

162. Teslia, I., Yehorchenkova, N., Yehorchenkov, O., Khlevna, I., Kataieva, Y., & Jamecny, L. Devising a multi-project approach to the formation of portfolios for restoration and development of territories within the concept of strategic investments and development packages of the STINBALEF project. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. 6(3(126), P. 36–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.291782>

163. The Standard for Earned Value Management. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2020. URL: <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/earned-value-management> (дата звернення: 10.03.2026).

164. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Seventh Edition. USA: Project Management Institute, 2021. 250 p.

165. Tryhuba A., Bashynsky O. Coordination of dairy workshops projects on the community territory and their project environment. *14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 2019. 3. P. 51–54.

166. Tryhuba A., Bashynsky O., Kondysiuk I., Koval N., Bondarchuk L. Conceptual model of management of technologically integrated industry development projects. *In: 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2020. P. 155–158.

167. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I., Boyarchuk O., Ftoma. 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*. Vol. 67, № 5, 2019, pp. 1357–1367.

168. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I., Ftoma O., Francik S. and Rudynets M. Method and Software of Planning of the Substantial Risks in the Projects of Production of raw Material for Biofuel. *CEUR Workshop Proceedings. Published in ITPM*, 2020. 116-129. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2565/paper11.pdf>. (Last accessed: 26.04.2025).

169. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I., Tymochko V., Bondarchuk S. Model of assessment of the risk of investing in the projects of production of biofuel raw materials. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*. 2020. 2. P. 151–154, 9322024.

170. 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. P. 219–231. <https://ceur-ws.org/Vol-3709/paper18.pdf>

171. 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. P. 44–52.

172. Tryhuba A., Koval N., Tryhuba I., Boiarchuk O. Application of Sarima Models in Information Systems Forecasting Seasonal Volumes of Food Raw Materials of Procurement on the Territory of Communities. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. 3295. P. 64–75.

173. Tryhuba A., Padyuka R., Tymochko V., Lub P. Mathematical model for forecasting product losses in crop production projects. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. 3109. P. 25–31.

174. Tryhuba A., 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. 3(3-99). P. 50–63.

175. 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. P. 18–20.

176. Tryhuba A., Ratushny R., Horodetsky 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.

177. 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. P. 419–431.

178. Tryhuba A., Zachko O., Grabovets V., Berladyn O., Pavlova I. and Rudynets N. 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: Control processes*, № 5/3(95). 2018. P. 59–70. doi: 10.15587/1729-4061.2018.142227

179. Tryhuba, A., Kondysiuk I., Tryhuba I., Lub P. Approach and Software for Risk Assessment of Stakeholders of Hybrid Projects of Transport Enterprise. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. 3295. P. 86–96. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3295/paper8.pdf>

180. 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. P. 44–52.

181. Tryhuba, A., Rudynets, M., Pavlikha, N., Tryhuba, I., Kytsyuk, I., Kornelyuk, O., Fedorchuk-Moroz, V., Androshchuk, I., Skorokhod, I., & Seleznov, D. Establishing patterns of change in the indicators of using milk processing shops at a community territory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019. 6(3 (102)). P. 57–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184508>

182. Verenysh O., Sharovara O., Dorosh M., Yehorchenkova N., Golyash I. Awareness management of stakeholders during project implementation on the base

of the Markov chain. *Proceedings of the 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. IDAACS 2019. 2019. 1. P. 259–262, 8924375.

183. Voitushenko A., Bushuyev S. Development of project managers' creative potential: Determination of components and results of research. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1080. P. 283–292.

184. Vorkut T.A., Petunin A.V., Tretynychenko YU.O. System aspects of portfolio management in transport and logistics organizational structures. *Systemy i środki transportu samochodowego. Efektywność I bezpieczeństwo. Wybrane zagadnienia*. 2017. Monografia №11. Seria: TRANSPORT. Rzeszów. P. 109–111.

185. Yang L., Lou J., Zhao X. Risk response of complex projects: Risk association network method. *Journal of Management in Engineering*. 2021. Vol. 37, № 4. Article ID: 05021004.

186. Zachko I., Ivanusa A., Kobylkin D. Hybrid management of programs of territorial systems development projects by means of convergence mechanisms. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. № 4 (14). P. 40–46.

187. Zachko I., Ivanusa A., Zachko O. Models and mechanisms management of program projects of socio-economic development the territories. *Scientific Journal of Astana IT University*. 2020. P. 110–116. <https://doi.org/10.37943/AITU.2020.53.64.010>

188. Zachko O., Demchyna V., Zachko I., Intellectual Models of Projects for the Development of Transport Infrastructure of Urban Territorial Systems. *Proceedings of the 3rd International Workshop IT Project Management (ITPM 2022)*. Conference. Kyiv, Ukraine, August 26, 2022. P. 159–169. <https://ceur-ws.org/Vol-3295/paper15.pdf>

189. Zachko O., Golovaty R., Yevdokymova A. Development of a simulation model of safety management in the projects for creating sites with mass gathering of people. *East European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 2 (3). P. 15–24.

190. Zaloznova Yu., Petrova I, Trushkina N. Klasyfikatsiya form derzhavno-pryvatnoho partnerstva: uzahal'nenyya zarubizhnoho ta vitchyznyanoho dosvidu [Classification of forms of public-private partnership: generalization of foreign and domestic experience]. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2016. № 3. P. 88–105.

191. Zubok V., Honchar S., Yermoshyn V., Karasiuk G. Architectural and functional comparison of known platforms and cybersecurity systems of industrial facilities. *Elektronnoe Modelirovanie*. 2022. Vol. 44(3). P. 65–86. DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.44.03.065>

ДОДАТКИ

Додаток А

Результати розробки СППР тактичного управління ризиками інфраструктурних проєктів

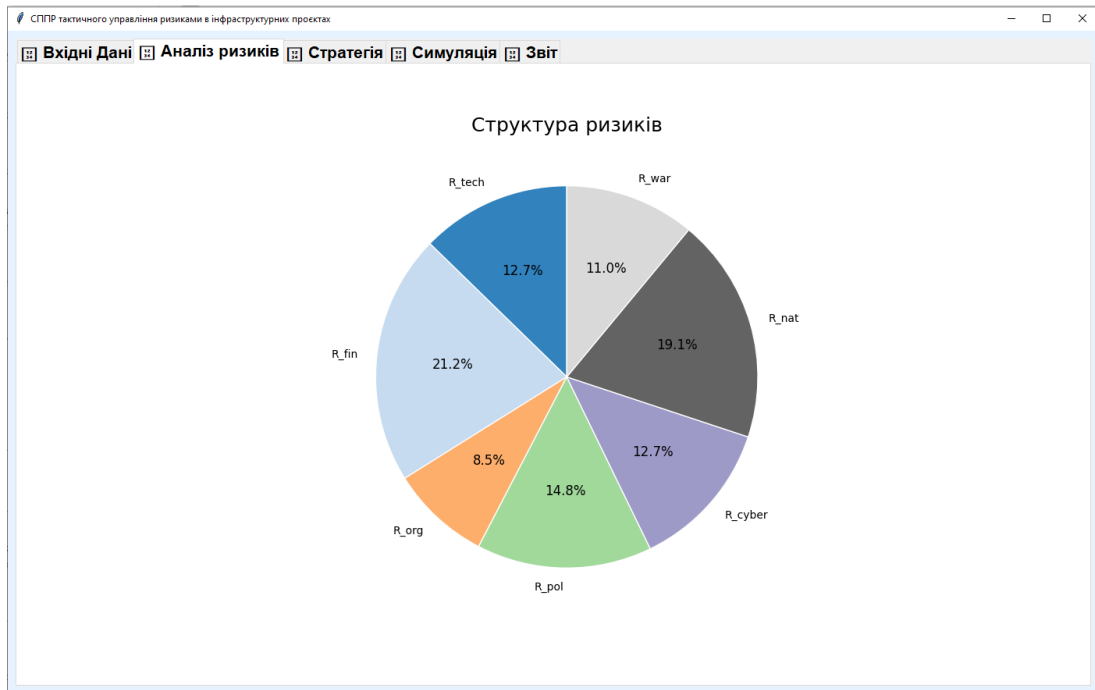


Рисунок А.1 – Екранна форма СППР з результатами аналізу ризиків
інфраструктурних проєктів

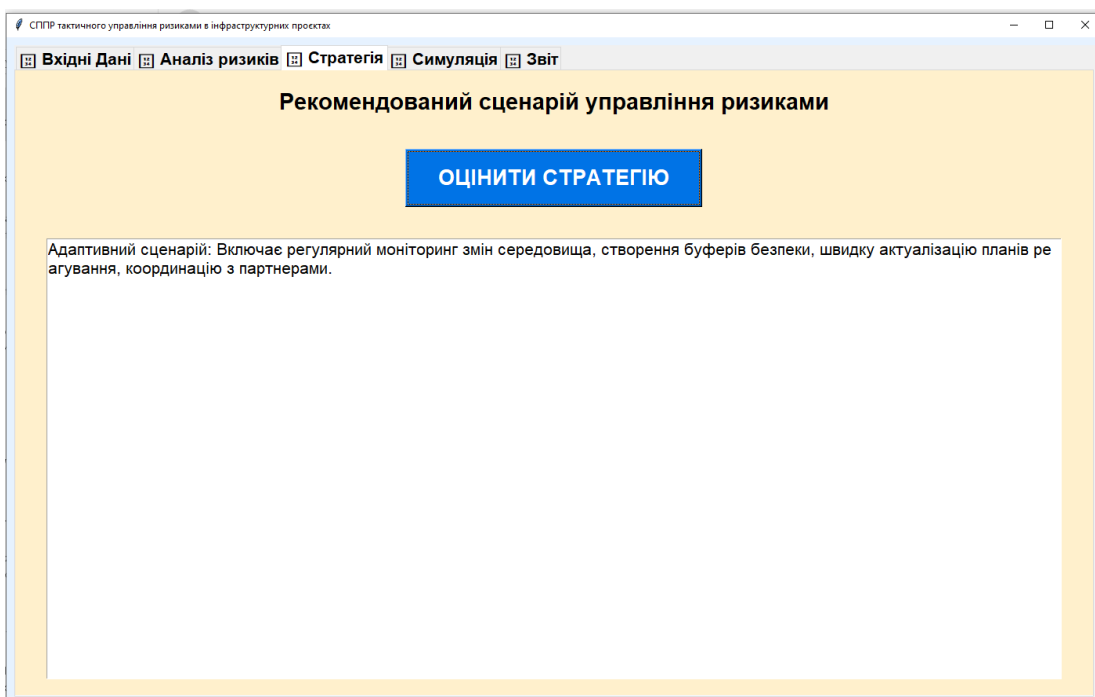


Рисунок А.2 – Екранна форма СППР з результатами вибору стратегії реалізації
інфраструктурних проєктів

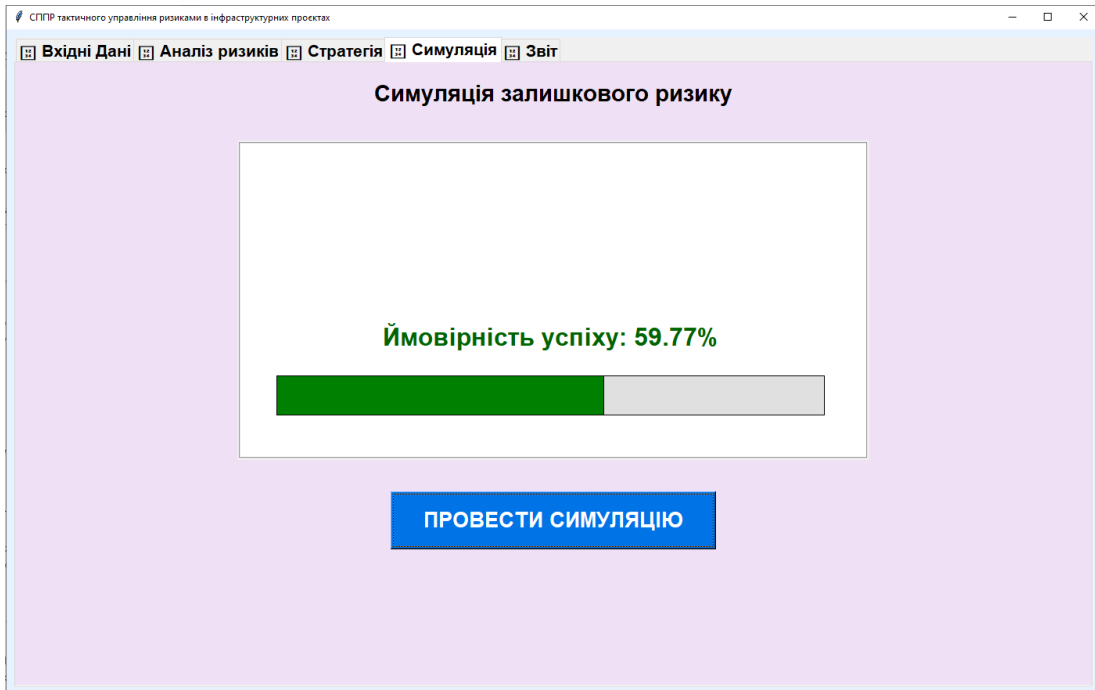


Рисунок А.3 – Екранна форма СППР з результатами симуляції інфраструктурних проєктів та оцінення ризику їх успіху

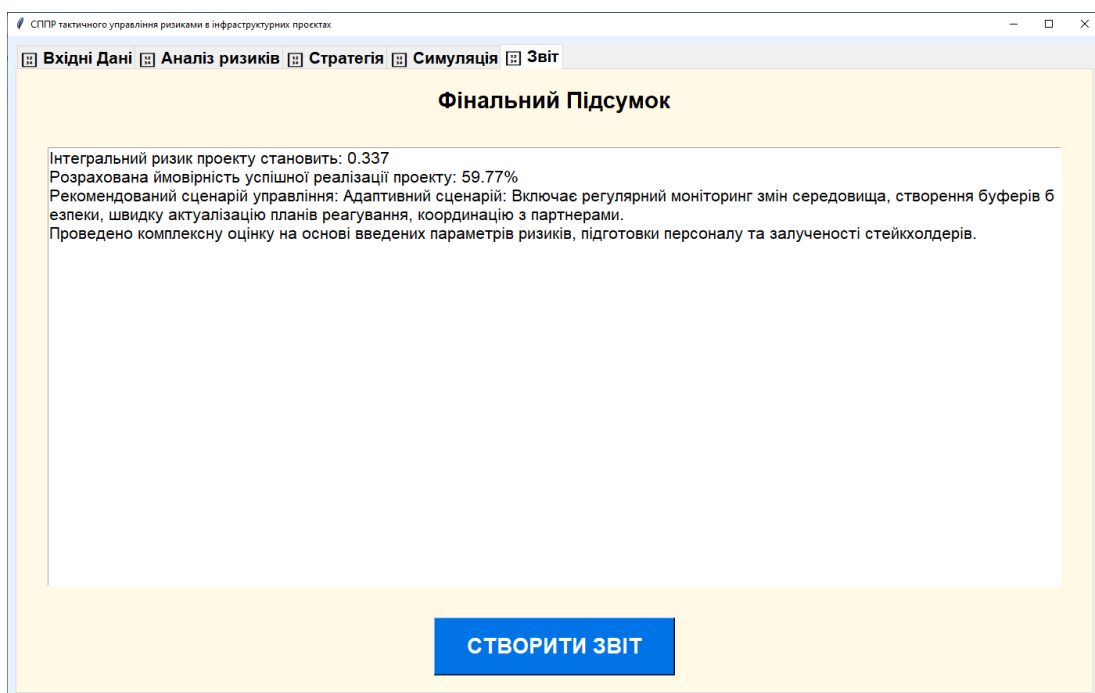


Рисунок А.4 – Екранна форма СППР з результатами формування підсумкового звіту оцінення ризику інфраструктурних проєктів

Додаток Б

**Результати дослідження впливу динамічного проєктного середовища на ризик проєктів розвитку
гідроелектростанцій**

Таблиця Б.1 – Початкові варіанти конфігурації проєктного середовища для моделювання із використанням СППР

Сценарій	Категорія	Бюджет, млн \$	Тривалість, міс.	Географічна зона	Стан регіону	Доступність ресурсів (0-1)	Підготовка персоналу (0-1)	Залученість стейкхолдерів (0-1)	R_{tech}	R_{fin}	R_{org}	R_{pol}	R_{cyber}	R_{nat}	R_{war}
1	ГЕС	50	36	Захід	Нормальний	0.9	0.85	0.8	0.1	0.15	0.1	0.05	0.1	0.2	0.05
2	ГЕС	50	36	Захід	Кризовий	0.8	0.7	0.65	0.15	0.2	0.15	0.1	0.15	0.25	0.15
3	ГЕС	50	36	Захід	Воєнний	0.6	0.5	0.45	0.25	0.3	0.25	0.2	0.35	0.4	0.5
4	ГЕС	50	36	Захід	Воєнний	0.5	0.4	0.35	0.3	0.4	0.3	0.25	0.45	0.5	0.6
5	ГЕС	50	36	Захід	Кризовий	0.75	0.8	0.7	0.2	0.2	0.2	0.15	0.2	0.3	0.2

Таблиця Б.2 – Результати моделювання впливу динамічного проєктного середовища на рівень ризику та ймовірність успіху проєктів розвитку ГЕС

Конфігурація	Інтегральний ризик, R_{int}	Рівень готовності, G	Залишковий ризик, $R_{residual}$	Ймовірність успіху, $P_{success}$, %	Рекомендований сценарій
1. Базовий сценарій	0.371	0.85	0.0557	76.48	Превентивний
2. Підвищений воєнний ризик	0.485	0.60	0.194	45.64	Адаптивний
3. Висока кібератака і природні ризики	0.529	0.80	0.105	64.21	Адаптивний
4. Критичний сценарій	0.757	0.60	0.302	33.45	Антикризовий

Додаток В
Результати формування стратегії проєктно-орієнтованого управління
ризиками розвитку гідроелектростанцій

Таблиця В.1 – Перелік елементів, що враховуються при формуванні інтегрованої карти ризиків реконструкції Касперівської ГЕС

№	Категорія об'єктів	Опис елементів для нанесення на карту
1	Інженерна інфраструктура ГЕС	Гребля; Водозливні шлюзи; Машинний зал; Аварійний скид води; Підстанція та вузли підключення до ЛЕП
2	Ризикові зони	Зона підтоплення при надзвичайному скиді; Зона можливого забруднення при аваріях; Зона технічного обслуговування; Площадки аварійної техніки
3	Соціально-економічні об'єкти	Найближчі населені пункти; Об'єкти потенційної евакуації; Критична інфраструктура (лікарні, школи, дороги, мости)
4	Екологічні особливості	Захищені водозбірні зони; Берегові лісові смуги; Нерестилища риби
5	Інформаційно-управлінські елементи	Датчики моніторингу рівня води; Системи контролю тиску; Диспетчерські пункти; Системи раннього попередження

Додаток Г

**Результати визначення показників ефективності від впровадження
проектно-орієнтованої моделі управління ризиками
реконструкції Касперівської ГЕС**

Розрахунок сукупної ризикової складової виконуємо за формулою:

$$L_n = L_o \times (1 - \Delta) \quad (\text{Г.1})$$

де L_o – початковий рівень сукупного ризику (песимістичний сценарій – $L_o = 92$ млн. грн.); Δ – відсоток зниження ризику після впровадження моделі.

Для зниження на 25%:

$$L_n = 92 \times (1 - 0.25) = 92 \times 0.75 = 69.00 \text{ млн. грн.}$$

Для зниження на 27%:

$$L_n = 92 \times (1 - 0.27) = 92 \times 0.73 = 67.16 \text{ млн. грн.}$$

Розрахунок часу прийняття рішень виконуємо за формулою:

$$T_n = T_o \times (1 - \Delta) \quad (\text{Г.2})$$

де T_o – середній цикл ухвалення управлінського рішення до впровадження моделі ($T_o = 20$ днів); Δ – скорочення часу на 15%.

$$T_n = 20 \times (1 - 0.15) = 20 \times 0.85 = 17.0 \text{ днів.}$$

Таблиця Г.1 – Результати визначення показників ефективності від впровадження проектно-орієнтованої моделі управління ризиками

№	Показник	Значення
1	Сукупна ризикова складова (до моделі), млн грн	92.00
2	Сукупна ризикова складова (після моделі, зниження 25%), млн грн	69.00
3	Сукупна ризикова складова (після моделі, зниження 27%), млн грн	67.16
4	Час прийняття рішень (до моделі), днів	20.00
5	Час прийняття рішень (після моделі, зниження 15%), днів	17.00

Додаток Д

Список публікацій здобувача за темою дисертації

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

1. Sodoma R., Kobylkin, D., Shmatkovska T., **Pavuk I.** Management of infrastructure development projects of Ukraine and rural areas. Scientific Papers Series “Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development”. 2024. Volume 24. Issue 3/2024. P. 821–831. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19060686> (0,625 д. а.). **Видання входить до МНБ – Web of Science.** *Особистий внесок автора полягає у формалізації моделі цифрового ризик-менеджменту проєктів розвитку об’єктів критичної інфраструктури та розробленні концептуальної схеми цифрової інтеграції, що становить 0,125 друк. арк.*
2. Sodoma R., Kobylkin D., **Pavuk I.** Project-oriented management of digitization of socio-economic development of territorial communities. Proceedings of the 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023). Warsaw 2023. P. 36–46. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19061286> (0,75 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus.** *Особистий внесок автора полягає у розробці моделі формування стратегії проєктно-орієнтованого управління ризиками розвитку об’єктів критичної інфраструктури та становить 0,3 друк. арк.*
3. Sodoma R., Kohut M., **Pavuk I.**, Kobylkin D., Balash L. Management of digitization of infrastructure projects and programs. Proceedings of the 5th International Workshop IT Project Management (ITPM 2024). Bratislava 2024. P. 67–76. https://doi.org/10.23939/IW_itpm2024.067 (0,645 д. а.). **Видання входить до МНБ – Scopus.** *Особистий внесок автора полягає у описі особливостей, розробці концептуальної моделі цифрового управління змінами у проєктах розвитку об’єктів критичної інфраструктури та становить 0,2 друк. арк.*

4. Kobylkin D., Havrys A., Rogulia A., Sodoma R., **Pavuk I.**, Avdieyeva K., Filippova V. Safety-oriented management of protection projects of critical infrastructure objects. Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development. 2025. Vol. 47. № 4. P. 537–548. <https://doi.org/10.15544/mts.2025.42> (1,0 д. а.). *Видання входить до МНБ – Web of Science. Особистий внесок автора полягає у формуванні методичного підходу до безпеко-орієнтованого управління проектами захисту об'єктів критичної інфраструктури на основі інтеграції інструментів проектного менеджменту та ризик-менеджменту, що становить 0,2 друк. арк.*

Статті у наукових фахових виданнях України:

5. Кобилкін Д.С., **Павук І.В.** Моделювання процесів тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2023. № 28. С. 14–23. <https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.02> (0,84 д. а.). *Категорія Б. Особистий внесок автора полягає у аналізі наукових досліджень з управління ризиками в інфраструктурних проєктах, розробці концепції та моделі тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах та становить 0,25 друк. арк.*

6. Содома Р.І., **Павук І.В.**, Кобилкін Д.С. Безпеко-орієнтоване управління ресурсами в реалізації інфраструктурних проєктів. Електронний журнал «Інфраструктура ринку». 2024. №79. С. 178–183. <https://doi.org/10.32782/infrastructure79-30> (0,6 д. а.). *Категорія Б. Особистий внесок автора полягає у розробці підходу до інтеграції ризик-менеджменту у етапи життєвого циклу інфраструктурного проєкту та становить 0,3 друк. арк.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Kobylkin D.S., **Pavuk I.V.** Analysis of risks when planning projects to create critical infrastructure objects. РМ Київ 2023 «Управління проєктами у

розвитку суспільства». Тема: «Управління проектами післявоєнної розбудови України»: тези доповідей / відповідальний за випуск С.Д.Бушуєв. Київ: КНУБА, 2023. С. 37–41. (0,18 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні особливості процесу аналізу ризиків під час планування проектів створення об'єктів критичної інфраструктури та становить 0,1 друк. арк.*

8. **Павук І.В.**, Кобилкін Д.С. Особливості формування концепції управління проектними ризиками на об'єктах критичної інфраструктури. Інновінг сучасних трендів в менеджменті безпеки: Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції. Львів: ЛДУ БЖД, 26 травня 2023. С. 59–60. (0,11 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні особливостей формування концепції управління проектними ризиками на об'єктах критичної інфраструктури та становить 0,06 друк. арк.*

9. **Pavuk I.**, Kobytkin D. Intelligent project-oriented risk management at critical infrastructure objects. Міжнародна науково-практична конференція «Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проектами та програмами», Коблево, 12–15 вересня 2023 р. Збірник праць. Харків: ХНУРЕ, 2023. С. 36–37. (0,15 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні особливості інтелектуального проектно-орієнтованого підходу до управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури та становить 0,08 друк. арк.*

10. **Павук І.**, Кобилкін Д. Особливості формування життєвого циклу інфраструктурних проектів в умовах ризиків. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2024. С. 376–378. (0,17 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в описі життєвого циклу розвитку інфраструктурних об'єктів в умовах невизначеності та ризиків та становить 0,1 друк. арк.*

11. Ковальчук О., Кобилкін Д., **Павук І.** Управління проектами в епоху штучного інтелекту та гнучких методологій. Інформаційні системи в управлінні проектами та програмами. Коблево, 9–13 вересня 2024 р. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції. Харків:

ХНУРЕ. 2024. С. 119–121. (0,14 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні доцільності застосування інтелектуального проектно-орієнтованого управління ризиками під час реалізації проектів у динамічному проектному середовищі та становить 0,06 друк. арк.*

12. **Павук І.В.**, Кобилкін Д.С., Ковальчук О.І. Особливості формування проектів захисту критичної інфраструктури в умовах воєнного стану. РМ Київ 2024 «Управління проектами у розвитку суспільства». Тема: «Управління проектами післявоєнної розбудови України»: тези доповідей / відповідальний за випуск С.Д.Бушуєв. Київ: КНУБА. 2024. С. 120–124. (0,16 д. а.). *Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні особливостей захисту об'єктів критичної інфраструктури під час реалізації інфраструктурних проектів в умовах воєнного стану та становить 0,07 друк. арк.*

Додаток Е

Відомості про апробацію результатів дисертації

1. 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023), (Warsaw, 2023), форма участі – очна (онлайн).

2. XX Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проектами у розвитку суспільства», (Київ, 2023), форма участі – очна (онлайн).

3. Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інновінг сучасних трендів в менеджменті безпеки», (Львів, 2023), форма участі – очна.

4. Міжнародній конференції «Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проектами та програмами», (Коблево, 2023), форма участі – очна (онлайн).

5. 5th International Workshop IT Project Management (ITPM 2024), (Bratislava, 2024), форма участі – очна (онлайн).

6. Міжнародній конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності», (Львів, 2024), форма участі – очна.

7. Міжнародній конференції «Інформаційні системи в управлінні проектами та програмами», (Коблево, 2024), форма участі – очна (онлайн).

8. XXII Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проектами у розвитку суспільства», (Київ, 2025), форма участі – очна (онлайн).

9. Щорічних звітних конференціях ад'юнктів, аспірантів, докторантів та здобувачів Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (Львів, 2021–2025), форма участі – очна.

Додаток Ж

Акти впровадження науково-дослідної роботи у практику



Департамент з питань оборонної
роботи, цивільного захисту населення
та взаємодії з правоохоронною роботою
Тернопільської обласної
державної адміністрації
код 14373153

№ 51-07/335

03 березня 2026 р.
46000 м. Тернопіль
вул. Родини Барвінських, 10

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційного дослідження у практичну діяльність департаменту з питань оборонної роботи, цивільного захисту населення та взаємодії з правоохоронними органами Тернопільської обласної державної адміністрації.

Видана Павуку Ігорю Володимировичу, аспіранту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності про те, що результати його науково-дослідної роботи, отримані при написанні дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії галузі знань 07 „Управління та адміністрування” 073 „Менеджмент” на тему: „Ризик менеджмент об’єктів критичної інфраструктури (на прикладі гідроелектростанцій)” використовуються у діяльності департаменту з питань оборонної роботи, цивільного захисту населення та взаємодії з правоохоронними органами Тернопільської обласної державної адміністрації.

Зокрема заслуговують на увагу пропозиції рекомендацій з ризик-менеджменту під час оцінювання ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій, пов’язаних з аваріями на гідротехнічних спорудах та об’єктах водного господарства області; використання моделей прогнозування ризикових сценаріїв при плануванні заходів цивільного захисту, реагування на паводки, підтоплення, руйнування гідротехнічних споруд та інші небезпечні події; інтеграції ризик-орієнтованого підходу у процеси оперативного управління та прийняття рішень органами управління; використання елементів цифрового моніторингу та аналітичних інструментів для оцінки обстановки під час надзвичайних ситуацій; впровадження напрацьованих методів у процес навчання.

Отримані практичні результати від впровадження, дають змогу зокрема підвищити рівень готовності органів управління територіальної підсистеми ЄДС ЦЗ під час виникнення надзвичайних ситуацій пов’язаних з порушенням функціонування об’єктів критичної інфраструктури; удосконалено процедури оцінювання ризиків та прогнозування розвитку небезпечних подій; зменшено рівень невизначеності при прийнятті управлінських рішень у кризових ситуаціях; посилено безпековий компонент при плануванні заходів цивільного захисту населення і територій.

Виконувач обов’язків
директора департаменту

Батюк Ігор 0352 23 50 84



Юрій ГРИГОРОВИЧ

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційного дослідження
Павука Ігоря Володимировича

Дністровським басейновим управлінням водних ресурсів були впроваджені результати дисертаційного дослідження ПАВУКА Ігоря Володимировича на тему “Ризик-менеджмент об’єктів критичної інфраструктури (на прикладі гідроелектростанцій)”, шляхом застосування рекомендацій з ризик-менеджменту під час підготовки та оновлення планів експлуатації, модернізації та захисту гідротехнічних споруд Дністровського басейну; використання моделей прогнозування ризикових сценаріїв у процесі планування реконструкції гідровузлів, водосховищ, систем водорегулювання та інженерних споруд; інтеграції цифрового інструментарію у внутрішню систему моніторингу стану гідротехнічних об’єктів; провадження напрацьованих моделей оцінювання залишкового та інтегрального ризику у процес підготовки технічної документації та планування інвестиційних і ремонтно-модернізаційних проєктів; використання алгоритмів СППР при щоденному аналізі гідрологічних показників, технічних властивостей споруд та прогнозуванні небезпечних ситуацій.

Отримані практичні результати від впровадження, зокрема: підвищено рівень точності та оперативності оцінювання ризиків гідротехнічних споруд; удосконалено систему моніторингу стану гідротехнічних об’єктів, що дозволило зменшити невизначеність при прийнятті рішень; посилено безпековий та аналітичний компонент у плануванні і реалізації інвестиційних, експлуатаційних та відновлювальних проєктів; забезпечено підвищення стійкості водогосподарської інфраструктури до природних, техногенних і воєнних загроз; створено основу для подальшої цифровізації управління водними ресурсами та впровадження інноваційних моделей ризик-орієнтованого менеджменту.



Ігор Павук, директор технічний, к. т. н., професор,

Олег МАНДРИК

М. П. Дністровське басейнове управління водних ресурсів
Ігор Павук
Олег Мандрик

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційного дослідження на здобуття освітньо-наукового рівня
доктора філософії зі спеціальності 073 “Менеджмент”
(освітньо-наукова програма “Управління проектами”)
ПАВУКА Ігоря Володимировича

Цим актом підтверджується, що в впроваджені у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності результати дисертаційного дослідження ПАВУКА Ігоря Володимировича на тему “Ризик менеджмент об’єктів критичної інфраструктури (на прикладі гідроелектростанцій)” використані в освітньому процесі при реалізації освітньо-професійної програми “Управління проектами” другого рівня вищої освіти магістр за спеціальністю 073/D3 “Менеджмент”, зокрема в освітніх компонентах: ОК 2.2 “Інформаційні системи в менеджменті” та ОК 2.14 “Управління проектними ризиками”.


Також в освітньо-науковому процесі використані результати виконання науково-дослідної роботи: “Наукові основи поствоєнного відновлення та реновації регіональних систем критичної інфраструктури України: бенчмаркінг світового досвіду та HR-фактор (№ державної реєстрації 0123U102890)”.

Члени комісії:

Начальник навчально-методичного центру
підполковник служби цивільного захисту

 Микола СИЧЕВСЬКИЙ

Заступник начальника навчально-наукового
інституту пожежної та техногенної безпеки
підполковник служби цивільного захисту
к.т.н., доцент

 Андрій ДОМІНІК

Начальник кафедри права та менеджменту
у сфері цивільного захисту
полковник служби цивільного захисту
к.ю.н., доцент

 Андрій САМІЛО

ДОВІДКА
ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційного дослідження
ПАВУКА Ігоря Володимировича

Головне управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Львівській області засвідчує, що наукові здобутки дисертаційної роботи Ігоря Володимировича ПАВУКА на тему: «Ризик менеджмент об'єктів критичної інфраструктури (на прикладі гідроелектростанцій)» успішно впроваджені в оперативну діяльність ГУ ДСНС України у Львівській області шляхом застосування рекомендацій з ризик-менеджменту під час оцінювання ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з аваріями на гідротехнічних спорудах та об'єктах водного господарства Львівської області; використання моделей прогнозування ризикових сценаріїв при плануванні заходів цивільного захисту, реагування на паводки, підтоплення, руйнування гідротехнічних споруд та інші небезпечні події; інтеграції ризик-орієнтованого підходу у процеси оперативного управління та прийняття рішень органами управління ДСНС; використання елементів цифрового моніторингу та аналітичних інструментів для оцінки обстановки під час надзвичайних ситуацій; впровадження напрацьованих методів у процес професійної підготовки та навчання особового складу підрозділів ДСНС Львівської області.

Завдяки впровадженню, було досягнуто: удосконалення процедури оцінювання ризиків та прогнозування розвитку небезпечних подій; зменшено рівень невизначеності при прийнятті управлінських рішень у кризових ситуаціях; підвищено рівень готовності органів управління та підрозділів ГУ ДСНС України у Львівській області до реагування на надзвичайні ситуації, пов'язані з порушенням функціонування об'єктів критичної інфраструктури; посилено безпековий компонент територій при плануванні заходів цивільного захисту населення і територій; створено науково-методичне підґрунтя для подальшого розвитку ризик-орієнтованого підходу у діяльності підрозділів ДСНС.

Заступник начальника головного управління -
начальник управління цивільного захисту
та превентивної діяльності
ГУ ДСНС України у Львівській області
полковник служби цивільного захисту




Олександр ОНОШКО