

УДК 005.334:624.05

Мацала Микола Іванович

аспірант

Київського національного університету будівництва та архітектури

Matsala Mykola

Postgraduate of the

Kyiv National University of Construction and Architecture

ORCID: 0000-0003-1260-5659

Сліпченко Роман Васильович

аспірант

Київського національного університету будівництва та архітектури

Slipchenko Roman

Postgraduate of the

Kyiv National University of Construction and Architecture

ORCID: 0009-0002-1957-8593

DOI: 10.25313/2520-2294-2024-9-10336

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АДАПТИВНИХ ЕКОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

MODERN APPROACHES TO RISK MANAGEMENT IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY BASED ON DIGITAL TECHNOLOGIES AND ADAPTIVE ECONOMIC MODELS

Анотація. Вступ. Будівельна галузь є однією з найбільш ризикових сфер економіки, оскільки реалізація будівельних проектів вимагає значних капіталовкладень, тривалого часу та залежить від багатьох зовнішніх факторів. Традиційні методи управління ризиками, такі як страхування та резервування коштів, часто не відповідають сучасним вимогам і потребам галузі. У зв'язку з цим виникає необхідність у застосуванні нових підходів до управління ризиками, які базуються на цифрових технологіях та адаптивних економічних моделях.

Мета. Дослідити сучасні підходи до управління ризиками в будівельній галузі на основі цифрових технологій та впровадження адаптивних економічних моделей.

Матеріали і методи. Метод порівняння застосовано для аналізу різних підходів до управління ризиками в будівництві, зокрема традиційних методів та сучасних, що базуються на цифрових технологіях та адаптивних економічних моделях. Метод допомагає виявити переваги та недоліки кожного підходу, оцінити їх ефективність та визначити найбільш гнучкий і адаптивний до ринкових змін. Метод аналітичного пошуку і узагальнення використано для глибокого вивчення наукової літератури, практичних досліджень та впровадження сучасних технологій управління ризиками у будівництві. Він дозволяє систематично розглядати різні аспекти цифрових технологій та узагальнити їх вплив, що сприяє формулюванню ефективних стратегій для галузі. Метод систематизації застосовано для впорядкування зібраної інформації та класифікації ризиків (економічних, технічних, екологічних, соціальних) та систематизації цифрових технологій і моделей управління ризиками.

Результати. У дослідженні виявлено, що впровадження сучасних цифрових технологій, таких як BIM, великі дані (Big Data), Інтернет речей (IoT) та штучний інтелект, значно підвищує ефективність управління ризиками в будівельній галузі. Встановлено, що інтеграція цих технологій з адаптивними економічними моделями дозволяє створити гнучкі системи управління, здатні швидко реагувати на ринкові зміни та мінімізувати вплив різних ризиків на реалізацію проектів. Такий підхід забезпечує точніше планування, оптимізацію ресурсів та підвищує рівень безпеки.

Перспективи. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку конкретних методологічних рекомендацій щодо впровадження адаптивних економічних моделей та цифрових технологій у різних видах будівельних проектів. Крім того, перспективним є вивчення можливостей застосування новітніх технологій, таких як блокчейн та доповнена реальність, для подальшого підвищення рівня ефективності та прозорості управління ризиками в будівництві.

Ключові слова: управління ризиками, цифрові технології, економічні моделі, компанії будівельної галузі, сталий розвиток.

Summary. Introduction. The construction industry is one of the most risky areas of the economy, since the implementation of construction projects requires significant capital investments, a long time and depends on many external factors. Traditional methods of risk management, such as insurance and reserve funds, often do not meet the current demands and needs of the industry. In this regard, there is a need to apply new approaches to risk management based on digital technologies and adaptive economic models.

Purpose. Investigate modern approaches to risk management in the construction industry based on digital technologies and the use of adaptive economic models.

Materials and methods. The comparison method is used to analyze different approaches to risk management in construction, in particular, traditional methods and modern ones based on digital technologies and adaptive economic models. The method helps to identify the advantages and disadvantages of each approach, to evaluate their effectiveness and to determine the most flexible and adaptable to market changes. The method of analytical search and generalization is used for in-depth study of scientific literature, practical research and introduction of modern technologies of risk management in construction. It allows you to systematically consider different aspects of digital technologies and summarize their impact, which contributes to the formulation of effective strategies for the industry. The systematization method is used to organize the collected information and classify risks (economic, technical, environmental, social) and systematize digital technologies and risk management models.

The results. The study found that the implementation of modern digital technologies, such as BIM, Big Data, Internet of Things (IoT) and artificial intelligence, significantly increases the effectiveness of risk management in the construction industry. It has been established that the integration of these technologies with adaptive economic models allows for the creation of flexible management systems capable of quickly responding to market changes and minimizing the impact of various risks on project implementation. This approach provides more accurate planning, optimization of resources and increases the level of security.

Discussion. Further research can be aimed at developing specific methodological recommendations for the implementation of adaptive economic models and digital technologies in various types of construction projects. In addition, it is promising to study the possibilities of using the latest technologies, such as blockchain and augmented reality, to further increase the level of efficiency and transparency of risk management in construction.

Key words: risk management, digital technologies, economic models, construction industry companies, sustainable development.

Постановка проблеми. Сучасна будівельна галузь стикається з багатьма ризиками, що пов'язані з економічною нестабільністю, технологічними інноваціями, зміною нормативно-правових вимог, екологічними викликами та глобалізаційними процесами. Традиційні методи управління ризиками, які здебільшого базуються на статичних і формальних підходах, стають малоефективними в умовах динамічного розвитку цифрової економіки. Це зумовлює необхідність впровадження нових підходів до управління ризиками, що базуються на сучасних цифрових технологіях та адаптивних економічних моделях. Актуальність дослідження полягає в тому, що цифрові технології, такі як BIM (Building Information Modeling), великі дані, Інтернет речей (IoT) та штучний інтелект, можуть радикально підвищити ефективність управління будівельними проектами та мінімізувати ризики на різних етапах їх реалізації. Водночас адаптивні економічні моделі, які здатні враховувати швидкі зміни ринкового середовища, дозволяють проектам більш гнучко та ефективно реагувати на виклики сучасного ринку і забезпечення сталого розвитку. З огляду на важливість та складність ризик-менеджменту у будівельній галузі, дослідження сучасних підходів до управління ризиками на основі

цифрових технологій та адаптивних моделей є актуальним і таким що спрямоване на розробку нових методів і підходів, які забезпечать високий рівень стійкості та конкурентоспроможності будівельних підприємств в умовах цифровізації економіки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Традиційні підходи до управління ризиками, які передбачають використання статичних економічних моделей і простих інструментів планування, поступово витісняються новітніми методами, що базуються на цифрових технологіях, таких як BIM (Building Information Modeling), великі дані (Big Data), Інтернет речей (IoT) та штучний інтелект. Ряд провідних дослідників підкреслюють важливість впровадження цифрових технологій для покращення процесів управління ризиками в будівництві. Наприклад, у роботах Ла Торре Д., Колапінто К., Дуросіні І., Тріберті С. [13], Такім Р., Гарріс М., Навав А. [17] розглядається використання BIM як інструменту для підвищення ефективності планування та координації будівельних проектів. Автори зазначають, що BIM дозволяє створювати детальні цифрові моделі будівельних об'єктів, у яких враховуються всі аспекти проекту: від дизайну та кошторису — до планування робіт. Це забезпечує можливість виявлення

потенційних ризиків ще на ранніх етапах проектування та мінімізує витрати, пов'язані з виправленням помилок під час будівництва.

У дослідженні Новикова О. [5], підкреслюється, що інтеграція BIM з іншими цифровими технологіями, такими як IoT та аналітика великих даних, створює основу для побудови комплексних систем управління ризиками в будівництві. IoT-сенсори на будівельному майданчику забезпечують збір даних у реальному часі про стан обладнання, якість матеріалів та умови праці, що дозволяє динамічно реагувати на ризики та коригувати процеси будівництва.

Ще один важливий напрямок досліджень стосується використання великих даних (Big Data) для аналізу ризиків у будівельних проектах. Дослідження Жосан Г., Кириченко Н. [2], показують, що аналіз великих обсягів даних з різних джерел, таких як ринкові аналітичні платформи, фінансові звіти та кліматичні дані, дозволяє прогнозувати ризики та розробляти ефективні стратегії їх мінімізації. Автори зазначають, що застосування алгоритмів машинного навчання та аналітики великих даних сприяє підвищенню точності прогнозування ризиків та покращенню процесу прийняття управлінських рішень.

Важливим компонентом сучасного управління ризиками є адаптивні економічні моделі. У роботах Данилюк І., Романовська О. [1], Бадрі А. [12] розглядаються методи розробки адаптивних моделей, які враховують динамічні зміни ринкових умов, коливання цін на матеріали та інші фактори, що впливають на будівельні проекти. Автори підкреслюють, що такі моделі здатні коригувати свої параметри на основі актуальних даних, що підвищує ефективність управління ризиками в умовах невизначеності. Завдяки інтеграції з цифровими технологіями, адаптивні моделі дозволяють здійснювати оперативне планування та реагування на зміни, забезпечуючи гнучкість та стійкість проектів (Сінгх Н., Чоухан С. [16]).

Дослідження Петренко Г., Гриненко І., Ніколаєв Г., Петруха Н., Рижаківа Г., Рогач К. [14] вказують на необхідність поєднання адаптивних економічних моделей з системами управління ризиками, що базуються на штучному інтелекті. Автори пропонують використовувати штучний інтелект для аналізу історичних даних проектів, моделювання можливих сценаріїв розвитку та оптимізації процесів управління. Такі моделі дозволяють враховувати складні взаємозв'язки між різними факторами ризику та прогнозувати їх вплив на вартість і терміни реалізації проекту.

Отже, сучасні дослідження підтверджують, що впровадження цифрових технологій та адаптивних економічних моделей є ключовим фактором підвищення ефективності управління ризиками в будівельній галузі. Однак, успішна реалізація цих підходів вимагає не лише технічних рішень, але й організаційних змін, що створює нові виклики для галузі та відкриває перспективи для подальших досліджень.

Метою статті є дослідження та оцінка можливості впровадження сучасних підходів до управління ризиками в будівельній галузі на основі цифрових технологій та впровадження адаптивних економічних моделей.

Завдання дослідження:

- дослідити сучасний стан управління ризиками в будівельній галузі, проаналізувавши існуючі методи та підходи, а також їх недоліки в умовах цифрової економіки;
- вивчити можливості застосування цифрових технологій з метою підвищення ефективності управління ризиками у будівництві;
- розробити концепцію інтеграції цифрових технологій з адаптивними економічними моделями для створення гнучких систем управління ризиками у будівельних проектах;
- оцінити переваги використання адаптивних економічних моделей у порівнянні з традиційними підходами, обґрунтувавши їх гнучкість, динамічність та відповідність сучасним ринковим умовам.

Матеріали і методи. Метод порівняння використано для аналізу різних підходів до управління ризиками в будівельній галузі, зокрема, порівняння традиційних методів управління ризиками з сучасними підходами, які базуються на цифрових технологіях та адаптивних економічних моделях. Метод порівняння дозволяє визначити переваги та недоліки кожного підходу, оцінити їх ефективність у різних умовах та виявити ті методи, які забезпечують найбільшу гнучкість і адаптивність до сучасних ринкових змін.

Метод аналітичного пошуку і узагальнення застосовується для глибокого вивчення існуючої наукової літератури, практичних досліджень та випадків впровадження сучасних технологій управління ризиками в будівельних проектах. Використовуючи аналітичний пошук, дослідження систематично розглядає різні аспекти цифрових технологій, таких як BIM, IoT, великі дані та адаптивні економічні моделі, та узагальнює їх вплив на управління ризиками. Узагальнення дозволяє об'єднати результати аналізу окремих аспектів у комплексну картину сучасних підходів до управління ризиками, що допомагає визначити найбільш ефективні стратегії та рекомендації для будівельної галузі.

Метод систематизації було використано для впорядкування інформації, отриманої під час дослідження, в логічну структуру. В межах дослідження він дав можливість класифікувати різні ризики у будівельній галузі (економічні, технічні, екологічні, соціальні), а також систематизувати цифрові технології та адаптивні моделі управління ризиками.

Виклад основного матеріалу. Будівельна галузь є однією з найбільш ризикових сфер економіки, оскільки її діяльність пов'язана зі значними капіталовкладеннями, тривалими термінами реалізації проектів та впливом численних зовнішніх факторів.

Для забезпечення належного і ефективного управління ризиками в будівельній галузі важливо ідентифікувати та зрозуміти основні види ризиків, які можуть впливати безпосередньо на будівельний проект:

1. Економічні ризики включають коливання вартості будівельних матеріалів, нестабільність курсу валют, зміни процентних ставок та загальну макроекономічну ситуацію. Будівельні проекти зазвичай є капіталомісткими та довготривалими, тому вони надзвичайно вразливі до економічних змін. Різка зростання цін на матеріали або неочікувані інфляційні процеси можуть призвести до значного перевищення бюджету, а це своєю чергою впливає на рентабельність проекту [11].

2. Технічні ризики пов'язані з можливими проблемами в проектуванні, плануванні та виконанні будівельних робіт. Вони включають помилки в проектній документації, технічні дефекти будівельних конструкцій, невідповідність матеріалів і технологій, а також відсутність належної кваліфікації персоналу. Технічні ризики можуть призвести до затримок у виконанні проекту, зростання витрат на виправлення помилок або навіть до аварій та руйнувань об'єктів [3].

3. Екологічні ризики пов'язані з впливом будівництва на навколишнє середовище. Будівельні проекти часто потребують використання природних ресурсів, які можуть спричинити екологічні проблеми, такі як забруднення повітря, води та ґрунту, а також порушення екосистем. Додаткові ризики виникають у разі недотримання екологічних стандартів та вимог, що може призвести до накладення штрафів, втрати репутації та навіть зупинки будівництва [14].

4. Соціальні ризики виникають через вплив будівельного проекту на місцеву громаду та умови життя населення. Вони включають можливі конфлікти із зацікавленими сторонами, зміни в інфраструктурі, шумове та візуальне забруднення, а також проблеми, пов'язані з безпекою та здоров'ям працівників. Нехтування соціальними аспектами може спричинити громадські протести, що уповільнить або зупинить будівництво [4].

Управління ризиками включає ідентифікацію, аналіз, оцінку та розробку заходів щодо їх мінімізації або уникнення. Традиційні підходи до управління ризиками в будівництві передбачають застосування методів страхування, використання резервів на непередбачувані витрати та створення детальних

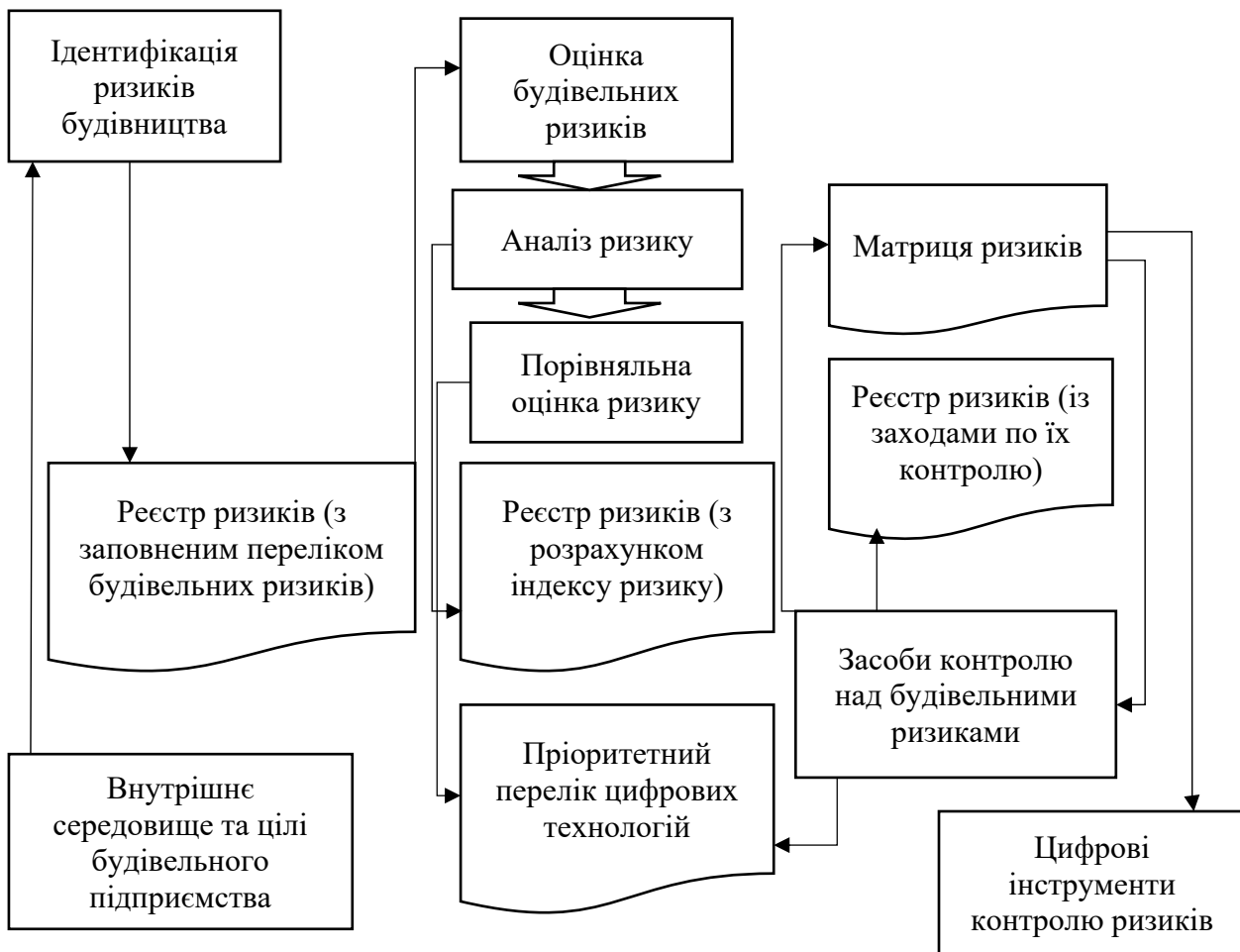


Рис. 1. Модель управління ризиками в будівельній галузі з використанням цифрових технологій
Джерело: розроблено автором

планів реалізації проєктів. Завдяки використанню цифрових технологій зростає можливість проведення сценарного аналізу, який дозволяє оцінити ймовірність різних ризиків та їх можливий вплив на проєкт, що надає більш гнучкий та проактивний підхід до управління ризиками, сприяючи зниженню їх негативного впливу на результативність будівельних проєктів (рис. 1).

В умовах складного та динамічного середовища будівництва такі технології, як BIM (Building Information Modeling), великі дані (Big Data), Інтернет речей (IoT) та штучний інтелект, є інструментами для забезпечення точного планування, контролю та аналізу в усіх етапах реалізації проєктів.

Building Information Modeling (BIM) є однією з найбільш перспективних технологій у будівництві. BIM — це процес створення та управління цифровими моделями будівель, які містять детальну інформацію про фізичні та функціональні характеристики об'єктів. Використання BIM надає можливість виявляти потенційні ризики на ранніх етапах проєктування та будівництва. Це забезпечує ефективну взаємодію між різними учасниками проєкту, допомагаючи зменшити ризики, пов'язані з помилками в проєктуванні, неточностями в кошторисах та координацією робіт [17].

Великі дані (Big Data) відкривають нові горизонти в управлінні будівельними проєктами, надаючи можливість здійснювати аналіз великих обсягів інформації, зібраної з різних джерел, включаючи дані про витрати, продуктивність, якість матеріалів та умови на будівельному майданчику. Аналізуючи ці дані, можна визначати тренди, виявляти потенційні проблеми та розробляти стратегії для їх вирішення. Наприклад, статистичний аналіз даних може допо-

могти передбачити збої в поставках матеріалів або затримки через погодні умови.

Інтернет речей (IoT) є технологією, яка дозволяє збирати та передавати дані з різних пристроїв і сенсорів, встановлених на будівельних майданчиках. IoT забезпечує постійний моніторинг обладнання, стану конструкцій та безпеки працівників, так датчики можуть контролювати рівень вібрацій та навантаження на будівельні елементи, попереджаючи про можливі аварії. Крім того, IoT дозволяє в режимі реального часу відстежувати прогрес будівництва, що сприяє оперативному прийняттю рішень для мінімізації ризиків [12].

Штучний інтелект (ШІ) має значний потенціал у будівельній галузі завдяки своїй здатності обробляти великі обсяги інформації, аналізувати складні ситуації та робити прогнози. ШІ використовується для автоматизації процесів проєктування, оптимізації розкладів будівництва, прогнозування термінів виконання робіт та витрат. Моделі машинного навчання забезпечують аналіз масивів проєктних і розрахункових даних, враховувати численні фактори ризику та передбачати можливі проблеми, надаючи рекомендації щодо їх уникнення або мінімізації (табл. 1).

Використання цифрових технологій у будівельній галузі надає низку переваг для ефективного прогнозування та мінімізації ризиків. Однією з ключових переваг є підвищення точності планування та прогнозування. BIM-технології, наприклад, дозволяють створювати високоточні тривимірні моделі об'єктів, що допомагає виявляти потенційні конфлікти у проєкті ще до початку будівельних робіт, що забезпечує мінімізацію ризиків, пов'язаних з помилками в проєктуванні, та забезпечує оптимальне використання ресурсів. Другою важливою перевагою є оператив-

Таблиця 1

Використання цифрових технологій в управлінні будівельними ризиками та їх застосування в будівельних проєктах

Цифрова технологія управління будівельними ризиками	Особливість використання	Заходи мінімізації ризиків	Доцільність широкого впровадження
1. BIM (Building Information Modeling)	Створення деталізованих 3D моделей будівельних об'єктів	Розробка плану впровадження, навчання персоналу	Підвищує ефективність планування та координації проєкту
2. Big Data	Аналіз великих обсягів даних для прогнозування ризиків	Застосування машинного навчання для виявлення трендів	Забезпечує точне прийняття рішень на основі даних
3. IoT (Інтернет речей)	Моніторинг стану обладнання та умов на будмайданчику	Інтеграція сенсорних даних з адаптивними моделями	Дозволяє оперативно реагувати на зміни в реальному часі
4. Штучний інтелект	Аналіз даних для оптимізації процесів та мінімізації ризиків	Автоматизоване прогнозування та моделювання можливих сценаріїв	Покращує якість управління ризиками та ресурсами
5. Єдина інформаційна система	Об'єднання даних з різних джерел для всебічного аналізу проєкту	Централізована обробка та аналіз даних	Сприяє прийняттю комплексних та обґрунтованих рішень

Джерело: розроблено на основі [6; 15]

ність у прийнятті рішень. Завдяки технологіям IoT та Big Data, керівники проектів отримують інформацію в режимі реального часу, що дозволяє швидко реагувати на будь-які зміни або відхилення від плану. Постійний моніторинг стану будівельного майданчика, обладнання та умов праці забезпечує підвищення рівня безпеки та зменшення ризиків аварійних ситуацій [10].

Автоматизація процесів та зниження впливу людського фактора є ще однією перевагою цифрових технологій. Використання штучного інтелекту для аналізу та планування будівельних процесів дозволяє мінімізувати помилки, які можуть виникати через людський фактор. Штучний інтелект може допомогти виявити потенційні ризики на основі аналізу попередніх проектів, що зменшує ймовірність їх виникнення у майбутньому. Крім того, цифрові технології забезпечують прозорість та контроль у реалізації будівельних проектів. Інформація про кожний етап проекту фіксується та доступна для аналізу, що дозволяє проводити оцінку ефективності управління ризиками та здійснювати контроль за дотриманням термінів та якості робіт [7].

Таким чином, цифрові технології стають невід'ємною складовою управління ризиками у будівництві. Вони дозволяють здійснювати комплексний аналіз та прогнозування ризиків, забезпечуючи більш точне планування, оптимізацію ресурсів та підвищення рівня безпеки. Інтеграція цих технологій у будівельні проекти сприяє зниженню ризиків та забезпечує більш стабільний та ефективний розвиток галузі в умовах цифрової економіки.

Адаптивні економічні моделі мають низку суттєвих переваг перед традиційними підходами, зумовлених їх здатністю до швидкого та гнучкого реагування на зміни в умовах сучасного ринкового середовища. Основні переваги таких моделей можна узагальнити в кількох ключових аспектах [6; 8]:

1. На відміну від традиційних моделей, адаптивні економічні моделі здатні миттєво змінювати свої параметри у відповідь на нові дані та обставини. Наприклад, при зміні цін на будівельні матеріали або при виявленні технічних проблем на будівельному

майданчику модель може автоматично коригувати план дій та рекомендувати оптимальні рішення для мінімізації витрат та уникнення затримок.

2. Адаптивні моделі працюють у режимі реального часу, що дозволяє приймати рішення на основі найсвіжіших даних. Це особливо важливо в будівельній галузі, де ризики можуть виникати несподівано, а оперативність у їх розв'язанні є критичним фактором. Традиційні підходи зазвичай базуються на статичних прогнозах та планах, які часто втрачають актуальність в умовах швидких змін. На цій основі можна запропонувати схему впровадження адаптивних економічних моделей в роботу будівельної компанії (рис. 2).

Елементи X_1, X_2, \dots, X_n на рисунку — вхідні змінні системи (наприклад, наявна ресурсна база, поставки матеріальних ресурсів, залучення кредитів, планові завдання з випуску та реалізації будівельної продукції). Елементи Y_1, Y_2, \dots, Y_n — вихідні змінні системи (наприклад, обсяги будівельної продукції (m^2), рівень якісних показників використання ресурсної бази, фінансового результату тощо). Елементи Z_1, Z_2, \dots, Z_n характеризують поточний стан ризиків системи (наприклад, поточний рівень виконання плану будівельної продукції, поточний рівень кількісних і якісних показників використання ресурсної бази будівництва).

Індекси a_1, a_2, \dots, a_n — параметри системи (наприклад, норми і нормативи, прийняті для конкретної будівельної компанії за кількісними та якісними показниками використання ресурсної бази, фінансовими коефіцієнтами тощо). Входи і виходи системи здійснюють зв'язок системи із зовнішнім середовищем, тобто оцінюють потенційні ризики. Елементи Z_1, Z_2, \dots, Z_n фіксують усі ризики, які впливають на стан системи, що відбуваються за рахунок надходження вхідних сигналів і внаслідок внутрішніх процесів, що відбуваються в роботі будівельної компанії [9]. Це є принциповим через те, що адаптивна економічна модель може містити алгоритми машинного навчання для аналізу економічної ситуації та передбачення коливань вартості матеріалів. На основі отриманих прогнозів модель

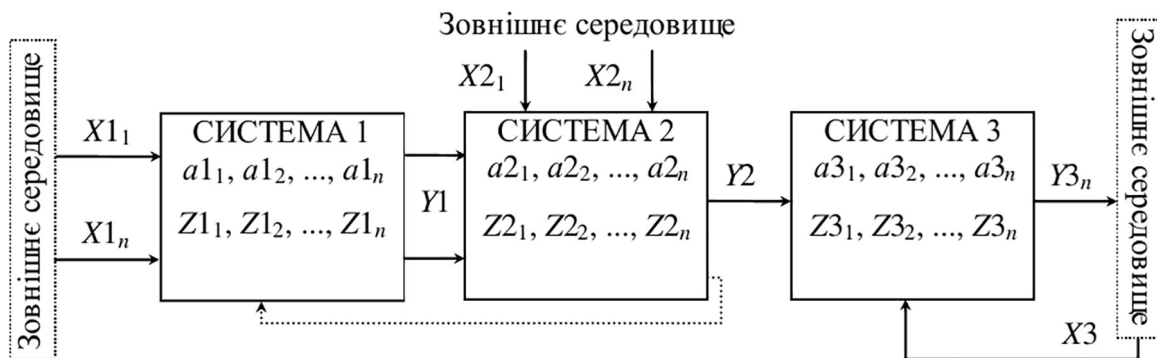


Рис. 2. Схематехніка впровадження адаптивних економічних моделей в роботу будівельної компанії
 Джерело: розроблено автором

рекомендує оптимальні стратегії закупівлі матеріалів, планування будівельних робіт та розподілу ресурсів. Подібна інтеграція цифрових технологій з економічним аналізом дозволяє підвищити точність прогнозування ризиків та ефективність управління будівельними проектами і самим будівельним виробництвом (рис. 3).

Загалом, переваги адаптивних моделей у їхній здатності забезпечувати інтерактивне планування, оптимізацію ресурсів та скорочення витрат шляхом використання сучасних технологій аналізу даних,

що фактично дозволяє будівельним компаніям ефективніше керувати проектами, забезпечуючи виконання робіт у межах бюджету та запланованих термінів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Аналіз сучасного стану управління ризиками показав, що традиційні підходи до управління ризиками в будівництві, зокрема застосування страхування, резервування коштів та детального планування, мають певні недоліки в умовах цифрової економіки. Економічні, технічні, екологічні та соціальні ризики в будівельних проектах є значними, особливо

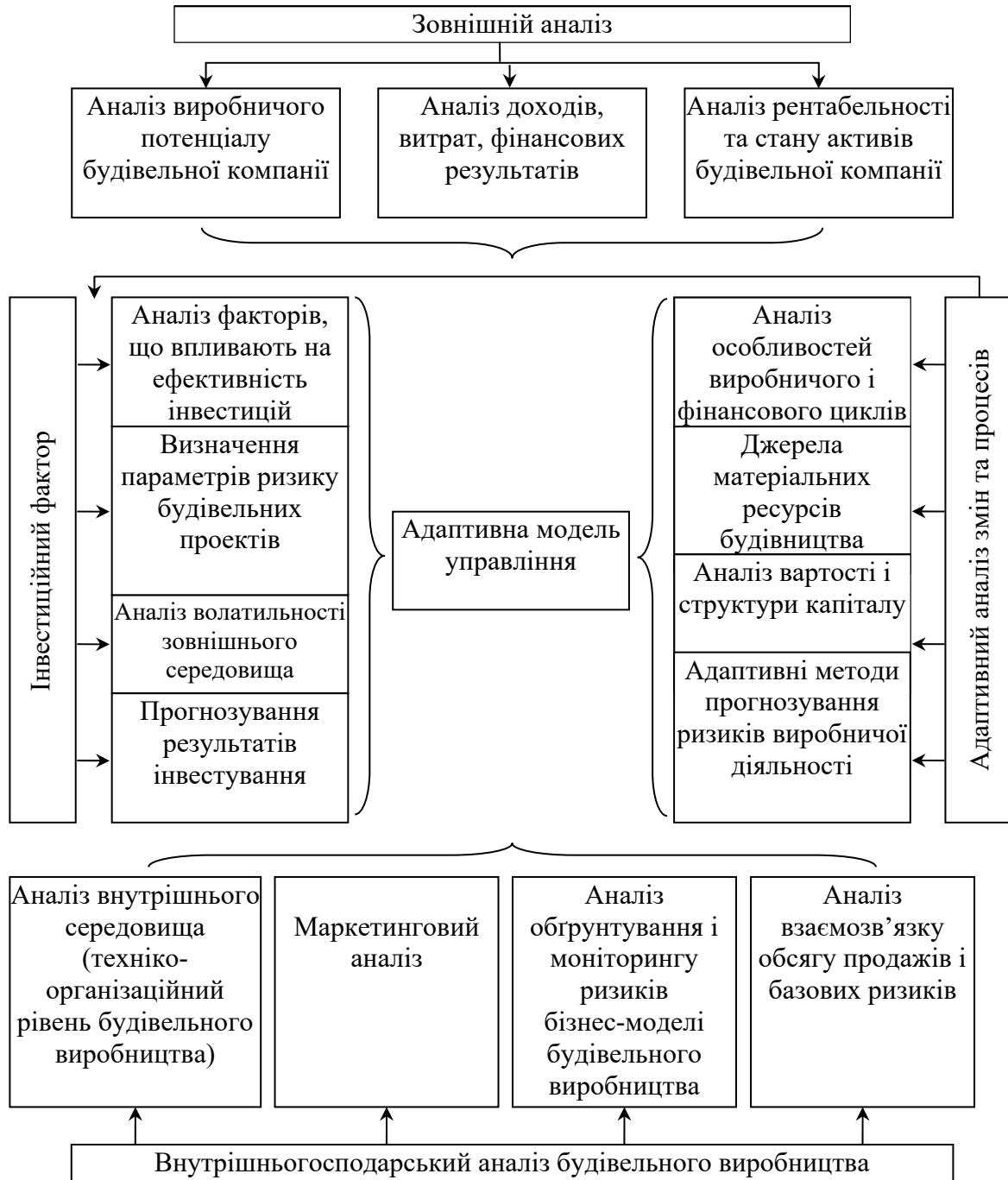


Рис. 3. Механізм оцінки будівельних ризиків в форматі адаптивного управління
Джерело: розроблено автором

враховуючи їх тривалість, високі капіталовкладення та вплив зовнішніх факторів. Цифрові технології в управлінні ризиками формують практичні можливості для прогнозування та мінімізації ризиків у будівництві. Зокрема, BIM-технології дозволяють створювати високоточні цифрові моделі будівельних об'єктів, що забезпечує ефективну взаємодію між учасниками проекту та виявлення потенційних ризиків на ранніх етапах.

Розробка концепції інтеграції цифрових технологій з адаптивними економічними моделями дозволяє створити гнучкі системи управління ризиками у будівельних проектах. Впровадження адаптивних моделей, які здатні миттєво змінювати свої параметри у відповідь на нові дані та обставини, дозволяє ефективно управляти ризиками. Системи, інтегровані з цифровими технологіями, забезпечують зв'язок із зовнішнім середовищем та здійснюють моніторинг стану будівельного об'єкту, виявляючи потенційні

ризиками в режимі реального часу. Запропонована модель інтеграції дозволяє динамічно коригувати стратегії управління проектами на основі актуальних даних, зменшуючи негативний вплив ризиків та підвищуючи стійкість будівельної галузі.

Переваги адаптивних економічних моделей у порівнянні з традиційними підходами є очевидними через те, що адаптивні моделі забезпечують швидке та гнучке реагування на зміни ринкових умов, коливання цін на матеріали та інші фактори. Вони працюють у режимі реального часу, що дозволяє приймати рішення на основі найсвіжіших даних, підвищуючи ефективність управління ризиками та оптимізуючи використання ресурсів. Крім того, адаптивні моделі враховують численні ринкові фактори, такі як зміни попиту, валютних курсів, нормативно-правові зміни тощо, що підвищує точність прогнозування та забезпечує конкурентоспроможність будівельних компаній.

Література

1. Данилюк І., Романовська О. Ризики в інжинірингу будівель: сутність, причини, напрямки вирішення. *Технічні науки та технології*. 2023. № 4 (30). С. 180–186. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4\(30\)-180-186](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4(30)-180-186).
2. Жосан Г.В., Кириченко Н.В. Управління цифровізацією бізнес-процесів діяльності підприємства. *Economic synergy*. 2022. № 4. с. 82–91. <https://doi.org/10.53920/ES-2022-4-6>.
3. Кружилко О.Є., Ткалич І.М., Сірик А.О., Полукаров О.І. Теоретичні основи та інформаційне забезпечення оцінювання виробничого ризику. *Харчова промисловість*. 2019. С. 124–132.
4. Непомнящий О. Основні принципи і складові ризик-менеджменту при будівництві та експлуатації споруд: державно-управлінський аспект. *Публічне урядування*. 2019. № 1(16). С. 154–169. <https://doi.org/10.32689/2617-2224-2019-16-1-154-169>.
5. Новиков О. Розмежування витрат для оцінки й аналізу ефективності управління ризиками інвестиційного проекту в будівництві. *Будівельні матеріали та виробу*. 2018. № 5–6(99). С. 109–111. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2018-99-15>.
6. Підлипний Ю.В., Гуштан Т.В., Каганець-Гаврилко Л.П., Самсонов О.С. Можливості інформаційного моделювання будівель для діджиталізованого управління ризиками в будівництві. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2023. т. 33, № 1. С. 45–51. <https://doi.org/10.36930/40330107>.
7. Гавриш О.А., Кузнєцова К.О., Мельникова В.А. Ризик-менеджмент будівельних підприємств проектоорієнтованого типу: монографія. Під редакцією Лисецької Н.М. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 211 с.
8. Самойленко В.В. Особливості формування системи управління ризиками на підприємстві. *Вчені записки Таврійського Національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2022. Т. 33 (72). № 1. С. 28–36.
9. Соколова О.М. Управління ризиками інфраструктурних проектів в Україні на засадах публічно-приватного партнерства. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2019. Т. 30 (69), № 1. С. 25–30.
10. Чайкіна А.О. Особливості інтеграції ризик-менеджменту в систему управління підприємством. *Економіка та суспільство*. 2022. № 39. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1337/1292> (дата звернення: 20.09.2024).
11. Akintoye S. S., Macleod M. J. Risk analysis and management in construction. *International Journal of Project Management*. 1997. P. 31–38.
12. Badri A. The Challenge of Integrating OHS into Industrial Project Risk Management: Proposal of a Methodological Approach to Guide Future Research. *Minerals*. 2015. Vol. 5, Issue 4. P. 314–334. doi: 10.3390/min5020314.
13. La Torre D., Colapinto C., Durosini I., & Triberti S. Team Formation for Human-Artificial Intelligence Collaboration in the Workplace: A Goal Programming Model to Foster Organizational Change. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2023. Vol. 70, Issue 5. P. 1966–1976. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3077195>.
14. Petrenko H., Hrynenko I., Nikolaiev H., Petrukha N., Ryzhakova H., Rohach K. Determination of system-wide determinants of dynamic development of construction enterprises in the concepts of compliance and risk management. *Management of the development of complex systems*. 2022. No 49. P. 105–112. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.105-112>.
15. Polukarov O. I., Prakhovnik N. A., Polukarov Y. O., Mitiuk L. O., Demchuk H. V. Assessment of occupational risks: New approaches, improvement, and methodology. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. 2021. No 8(11). P. 79–86.

16. Singh N., Chouhan S. S. Role of Artificial Intelligence for Development of Intelligent Business Systems. *IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (iSES)*. 2021. 373–377. doi: 10.1109/iSES52644.2021.00092.
17. Takim R., Harris M., Nawaw, A. H. Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for quality of life within Architectural, Engineering and Construction (AEC) industry. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2013. No 101. P. 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.175>.

References

1. Danyliuk, I., & Romanovska, O. (2023). Ryzyky v inzhynirynhu budivel: sutnist, prychyny, napryamky vyrishennya [Risks in construction engineering: essence, causes, solution directions]. *Technical Sciences and Technology*, 4(30), 180–186. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4\(30\)-180-186](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4(30)-180-186) [in Ukrainian].
2. Zhosan, H. V. ta Kyrychenko, N. V. (2022). Upravlinnya tsyfrovizatsiyeyu biznes-protsesiv diyalnosti pidpryemstva [Management of digitalization of business processes of the enterprise]. *Economic synergy*, 4, 82–91. <https://doi.org/10.53920/ES-2022-4-6> [in Ukrainian].
3. Kruzhylo, O. E., Tkalych, I. M., Sirik, A. O., Polukarov, O. I. (2019). Teoretychni osnovy ta informatsiyne zabezpechennya otsynuyuvannya vyrobnychoho ryzyku [Theoretical foundations and information support for industrial risk assessment]. *Food Industry*, 124–132 [in Ukrainian].
4. Nepomnyashchyy, O. (2019). Osnovni pryntsyipy i skladovi ryzyk-menedzhmentu pry budivnytstvi ta ekspluatatsiyi sporud: derzhavno-upravlinskyy aspekt [Basic principles and components of risk management during construction and operation of facilities: public administration aspect]. *Public Management*, 1(16), 154–169. <https://doi.org/10.32689/2617-2224-2019-16-1-154-169>.
5. Novykov, O. (2018). Rozmezhuvannya vytrat dlya otsinky y analizu efektyvnosti upravlinnya ryzykamy investytsiyynoho proektu v budivnytstvi [Differentiation of expenses for evaluation and analysis of the effectiveness of risk management of an investment project in construction]. *Building Materials and Products*, 5–6(99), 109–111. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2018-99-15> [in Ukrainian].
6. Pidlypnyi, Yu. V., Hushtan, T. V., Kahanets-Havrylo, L. P., & Samsonov, O. S. (2023). Mozhlyvosti informatsiyynoho modelyuvannya budivel dlya didzhytalizovanoho upravlinnya ryzykamy v budivnytstvi [Possibilities of building information modeling (BIM) for digitized risk management in construction]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(1), 45–51. <https://doi.org/10.36930/40330107> [in Ukrainian].
7. Lysetska, N. M. (2023). Ryzyk-menedzhment budivnykh pidpryemstv proektooriyentovanoho typu: monohrafiya [Risk management of construction enterprises of project-oriented type: monograph]. Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi [in Ukrainian].
8. Samoilenko, V. V. (2022). Osoblyvosti formuvannya systemy upravlinnya ryzykamy na pidpryemstvi [Peculiarities of the formation of the risk management system at the enterprise]. *Scientific notes of the Tavri National University named after V.I. Vernadskyi. Series: Economics and management*, 33 (72), 1, 28–36 [in Ukrainian].
9. Sokolova, O. M. (2019). Upravlinnia ryzykamy infrastrukturykh proektiv v Ukraini na zasadakh publichno-privatnoho partnerstva [Risk management of infrastructure projects in Ukraine on the basis of public-private partnership] *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Ekonomika i upravlinnia*, 30 (69), 1, 25–30 [in Ukrainian].
10. Chaikina, A. O. (2022). Osoblyvosti intehratsiyi ryzyk-menedzhmentu v systemu upravlinnya pidpryemstvom [Peculiarities of the integration of risk management into the enterprise management system]. *Economy and society*, 39. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1337/1292> [in Ukrainian].
11. Akintoye, S. S., Macleod, M. J. (1997). Risk analysis and management in construction. *International Journal of Project Management*, 31–38.
12. Badri, A. (2015). The Challenge of Integrating OHS into Industrial Project Risk Management: Proposal of a Methodological Approach to Guide Future Research. *Minerals*, 5 (4), 314–334. doi: 10.3390/min5020314.
13. La Torre, D., Colapinto, C., Durosini, I., & Triberti S. (2023). Team Formation for Human-Artificial Intelligence Collaboration in the Workplace: A Goal Programming Model to Foster Organizational Change. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70 (5), 1966–1976. doi: <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3077195>.
14. Petrenko, H., Hrynenko, I., Nikolaiev, H., Petrukha, N., Ryzhakova, H., Rohach, K. (2022). Determination of system-wide determinants of dynamic development of construction enterprises in the concepts of compliance and risk management. *Management of the development of complex systems*, 49, 105–112. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.105-112>.
15. Polukarov, O. I., Prakhovnik, N. A., Polukarov, Y. O., Mitiuk, L. O., Demchuk, H. V. (2021). Assessment of occupational risks: New approaches, improvement, and methodology. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 8 (11), 79–86.
16. Singh, N., & Chouhan, S. S. (2021). Role of Artificial Intelligence for Development of Intelligent Business Systems. *IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (iSES)*, 373–377. doi: <https://doi.org/10.1109/iSES52644.2021.00092>.
17. Takim, R., Harris, M., & Nawawi, A. H. (2013). Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for quality of life within Architectural, Engineering and Construction (AEC) industry. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 101, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.175>.