МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

РАСПУТНИЙ ДАН СЕРГІЙОВИЧ

УДК 658.5:005.8:004.9:[330.341:69.003]

ДИСЕРТАЦІЯ

ЦИФРОВИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ УПРАВЛІННЯ ЕКОНОМІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

051 – Економіка
05 – Соціальні та поведінкові науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ /Д.С. Распутний/

Науковий керівник: Титок Вікторія Вікторівна, кандидат економічних наук, доцент

Київ 2026

АНОТАЦІЯ

Распутний Д.С. Цифровий інструментарій управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 – Економіка, галузь знань 05 – Соціальні та поведінкові науки. – Київський національний університет будівництва і архітектури, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2026 р.

Дисертація присвячена розв'язанню актуального науково-прикладного завдання щодо розвитку теоретико-методичних положень і розроблення практичних рекомендацій з формування та впровадження цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів в умовах цифрової трансформації економіки.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, скорочення витрат, мінімізації ризиків та забезпечення якісної координації між учасниками будівельного процесу. Цифровізація будівельної галузі, впровадження технологій інформаційного моделювання будівель (BIM), інструментів аналізу даних, технологій підтримки прийняття управлінських рішень та сучасних методів оцінювання ефективності проєктів визначають нові вимоги до побудови систем управління економічними параметрами інвестиційно-будівельної діяльності.

У роботі досліджено теоретичні засади цифрової трансформації підприємств будівельної галузі та обґрунтовано імперативи їх розвитку в умовах цифровізації економіки. Проведено SWOT-аналіз цифрової зрілості учасників будівництва, що дозволило визначити ключові фактори готовності суб'єктів галузі до впровадження цифрових технологій та виявити напрями підвищення ефективності їх використання.

Особливу увагу приділено розробленню цифрового інструментарію підтримки управлінських рішень щодо забезпечення трудомісткості

будівництва на основі використання апарату нечітких множин. Запропонований підхід дозволяє враховувати невизначеність, неповноту та нечіткість інформації, характерні для інвестиційно-будівельних проєктів, що сприяє підвищенню обґрунтованості управлінських рішень.

У дисертації здійснено систематизацію факторів впливу на економічну ефективність проєктних рішень та побудовано концептуальну модель оцінювання їх впливу на результати реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. Розглянуто взаємозв'язок між рівнем матеріаломісткості залізобетонних робіт та досягненням цільових економічних показників.

Значне місце в дослідженні посідає оцінювання економічної ефективності використання технологій інформаційного моделювання будівель на різних етапах життєвого циклу інвестиційно-будівельних проєктів. Доведено, що впровадження BIM-технологій забезпечує підвищення прозорості інформаційних потоків, покращення координації між учасниками проєкту, скорочення термінів реалізації робіт, зменшення непродуктивних витрат та підвищення економічної результативності проєктної діяльності.

Окремий напрям дослідження присвячено аналізу ризиків, що впливають на досягнення цілей будівельних учасників будівництва у контексті застосування цифрових технологій. Сформовано підходи до ідентифікації, оцінювання та моніторингу ризиків цифрової трансформації інвестиційно-будівельних проєктів із використанням сучасних цифрових інструментів управління, а також запропоновано підхід до ідентифікації ризиків відхилень реальних параметрів процесу будівництва від проєктних із застосуванням нечітких множин, на прикладі показників трудомісткості.

У першому розділі дослідження розкрито теоретико-методичні засади цифровізації управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів в умовах трансформації економічних відносин. Здійснено комплексний аналіз еволюції наукових поглядів щодо застосування цифрових технологій у будівництві, узагальнено концепції цифрової економіки та визначено ключові напрями цифрової трансформації галузі, яка

дедалі більше залежить від інтеграції новітніх інструментів у процеси планування, моніторингу й контролю.

Значну увагу приділено вивченню сучасних цифрових технологій, зокрема інформаційного моделювання будівель (BIM-технологій) на всіх етапах життєвого циклу об’єкта. Проаналізовано їхній потенціал щодо підвищення ефективності використання ресурсів, покращення координації учасників та адаптації передового міжнародного досвіду до вітчизняної практики. Окреслено економічну сутність інвестиційно-будівельних проєктів як складних систем і охарактеризовано вплив цифровізації на механізми управління вартістю, строками, якістю та ризиками.

Узагальнення наукових джерел засвідчило, що попри високий рівень вивчення окремих аспектів, питання формування цілісного цифрового інструментарію управління економічними параметрами залишаються недостатньо дослідженими. Це зумовлює потребу в розробленні методичних підходів до оцінювання готовності до цифровізації, аналізу факторів впливу на ефективність рішень та інтеграції BIM-технологій у єдину систему управління.

На основі проведеного аналізу сформовано теоретичне підґрунтя для подальшого розвитку науково-методичних засад і створення практичного інструментарію. Це обґрунтовує необхідність розробки інтегрованих моделей та методів, що поєднують сучасні цифрові технології з механізмами економічного управління й підтримки прийняття рішень для ефективної реалізації проєктів в умовах цифрової трансформації.

У другому розділі дослідження розроблено теоретико-методичні засади цифрового моніторингу параметрів будівельного виробництва на основі аналізу ресурсних характеристик монолітних залізобетонних робіт. Запропонований підхід орієнтований на безперервне спостереження за параметрами виконання процесів для своєчасного виявлення відхилень і запобігання дефектам на ранніх стадіях реалізації проєкту.

На основі чинних ресурсних елементних кошторисних норм встановлено, що монолітні залізобетонні роботи є найбільш репрезентативними: 44,68% усіх нормативних позицій збірника становлять роботи з улаштування конструкцій, а сукупна частка робіт, пов'язаних із виготовленням елементів із бетону та залізобетону, перевищує 65% номенклатури. Обґрунтовано систему параметрів оцінювання, що охоплює обсяги робіт, геометричні характеристики, властивості матеріалів, параметри армування та ресурсомісткість.

Статистичний аналіз дозволив визначити основні кількісні характеристики процесів: для улаштування монолітних залізобетонних конструкцій середня трудомісткість становить 382,75±92,86 люд.-год. на 100 м³, для бетонування поверхонь – 18,96±22,75 люд.-год. на 100 м², а для арматурних робіт – 41,47±20,41 люд.-год. на 1 т арматури. Для виконання 100 м³ монолітних конструкцій у середньому використовується 139,54±31,9 т будівельних матеріалів, тоді як на 1 т арматури припадає 29,41±16,35 т супутніх матеріалів.

За результатами кореляційного та регресійного аналізу підтверджено стійкий прямий зв'язок між трудомісткістю та масою матеріалів: для об'ємних конструкцій кожна додаткова тонна потребує 2,11±0,103 люд.-год. праці, а для арматурних робіт – 0,59±0,17 люд.-год. Отримані залежності обґрунтовують використання маси матеріальних ресурсів як ключового параметра прогнозування трудомісткості та моніторингу будівельних процесів.

У третьому розділі дисертації розроблено концептуальну модель цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів на основі інтеграції цифрового середовища (BIM, GIS, IoT, ERP, CDE, Digital Twin), економіко-математичних моделей, оцінювання ризиків та цифрової зрілості учасників. Підхід забезпечує взаємозв'язок між економічними показниками, рівнем цифрової трансформації та ризиками середовища.

Для ідентифікації та аналізу ризиків в умовах невизначеності обґрунтовано застосування методів Fuzzy Logic, Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy DEMATEL і нечітких когнітивних карт. Участь блоку оцінювання цифрової зрілості девелопера, замовника, проєктувальника та підрядника забезпечує формування рекомендацій щодо досягнення цільових параметрів вартості, строків і ресурсного забезпечення.

Досліджено сучасні підходи до організації процесу проєктування як ключової передумови управління ризиками. Визначено напрями підвищення ефективності, зокрема оптимізація рішень, багаівіріантність, паралельне виконання робіт, цифровізація документації та раннє залучення стейкхолдерів, що сприяє скороченню тривалості циклу та зменшенню ризиків.

Розроблено науково-методичний підхід до цифрового управління ризиками з використанням теорії нечітких множин, де трудомісткість розглядається як інтегральний індикатор відхилень від проєктних вимог. Обґрунтовано, що надмірне відхилення витрат праці (як у бік зменшення, так і збільшення) свідчить про порушення технологічного процесу та виникнення ризиків.

Запропоновано підхід до оцінювання меж трудомісткості на основі нечітких чисел другого типу та асиметричної фаззифікації для врахування песимістичних сценаріїв. Сформовано методичний підхід до зонування фактичної трудомісткості на прийнятну, ризикову та критичну області з використанням дзвоноподібних функцій належності, що забезпечує випереджувальне виявлення ризиків і підтримку рішень у цифровому середовищі на основі BIM-технологій та інтелектуальної аналітики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробленні комплексного підходу до управління економічними параметрами інвестиційно-будівельного процесу на основі використання цифрового інструментарію, який поєднує інструменти нечітко-множинного моделювання ризиків, BIM-технології, систему цифрового управління параметрами будівництва, оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва у

комплексну систему підвищення якості і прогнозованості будівельного процесу.

Удосконалено:

– концептуальний підхід до побудови моделі цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів протягом усього життєвого циклу, який, на відміну від існуючих підходів, забезпечує інтеграцію в єдиному цифровому інформаційному середовищі технологій BIM, GIS, IoT, ERP, CDE та Digital Twin із нечіткою системою оцінювання ризиків, інструментами визначення рівня цифрової зрілості учасників проєкту та інтелектуальною системою підтримки прийняття рішень, що дозволяє здійснювати адаптивне управління вартісними, часовими та ресурсними параметрами будівництва в режимі реального часу з урахуванням невизначеності зовнішнього і внутрішнього середовища**;**

– науково-методичні основи ризик-орієнтованого управління параметрами будівництва, які запропоновано базувати на поєднанні економіко-математичного моделювання трудомісткості будівельних робіт із методами нечіткої логіки та забезпечують прогнозне оцінювання ризиків відхилення параметрів будівельної продукції від проєктних характеристик в умовах невизначеності, неповноти та якісної неоднорідності інформаційного забезпечення будівельного виробництва. Науково-методичний підхід передбачає формування інтервальних меж параметрів будівництва з урахуванням невизначеності організаційних, технологічних, матеріальних та кадрових чинників, а використання апарату нечітких множин дає змогу враховувати нечіткість, неповноту та експертний характер вхідної інформації під час оцінювання ризиків;

– теоретичні положення щодо прогнозування параметрів будівництва шляхом визначення трудомісткості залізобетонних робіт на основі системи чинників оперативного контролю, зокрема геометричних характеристик конструкцій, обсягів виконаних робіт, показників якості бетонної суміші та затверділого бетону, параметрів армування, а також рівня дотримання

технологічних операцій. Запропонований підхід забезпечує можливість оцінювання не лише кінцевих результатів будівництва, а й поточного стану реалізації будівельного процесу на всіх стадіях створення конструкції, що сприяє своєчасному виявленню відхилень від проєктних рішень, встановленню причин виникнення дефектів та підвищенню достовірності прогнозування економічних параметрів будівельних проєктів;

Набули подальшого розвитку:

–теоретичні засади підвищення ефективності діяльності підприємств будівельної галузі в умовах цифрового середовища, які розвинено шляхом обґрунтування взаємозалежності між ступенем цифрової трансформації бізнес-процесів та динамікою основних економічних параметрів будівництва (вартістю, термінами виконання, якістю та рівнем ризиків). Це дало змогу сформувати теоретичну основу для трактування цифровізації не лише як сучасного етапу розвитку економічних систем і нового формату інформаційної взаємодії учасників будівельної діяльності, а й як ключового чинника якісних змін у будівельному процесі, що забезпечує можливість цілеспрямованого управління параметрами проєкту протягом усього його життєвого циклу;

– інструментарій прогнозування параметрів будівництва, заснований на нечітко-множинному поданні економіко-математичних моделей, який доповнено нормативними інтервалами допустимих трудових витрат. Це забезпечує можливість своєчасного виявлення відхилень будівельних робіт від раціональних режимів їх виконання та запобігання відхиленням фактичних характеристик будівельної продукції від запланованих показників. На основі побудованих однофакторних моделей для монолітних залізобетонних конструкцій і процесів армування запропоновано підхід до інтервального оцінювання трудомісткості, що інтегрує методи регресійного аналізу та нечіткої логіки. У межах цього підходу маса матеріалів, виробів і конструкцій використовується як базовий параметр оперативного моніторингу технологічних процесів, що дозволяє формувати цифрові критерії оцінювання відповідності фактичних витрат праці раціональним умовам виконання

будівельних робіт;

–методичий підхід до оцінювання цифрової зрілості учасників проєкту, який ґрунтується на визначенні рівня розвитку BIM-технологій, цифрових компетентностей персоналу, автоматизації бізнес-процесів, інтеграції даних, кібербезпеки та цифрового управління ризиками, результатом чого є формування інтегрального індексу цифрової зрілості, що дозволило визначати вплив рівня цифрової трансформації учасників будівництва на ефективність управління ризиками та досягнення цільових показників вартості, строків і ресурсного забезпечення;

– методичний підхід до оцінювання цифрової зрілості учасників будівельного проєкту, який передбачає комплексне врахування рівня впровадження BIM-технологій, розвитку цифрових компетентностей персоналу, ступеня автоматизації бізнес-процесів, інтегрованості інформаційних потоків, стану кібербезпеки та практик цифрового управління ризиками. Результатом застосування підходу є розрахунок інтегрального індексу цифрової зрілості, що дає змогу оцінювати вплив рівня цифрової трансформації суб'єктів будівельної діяльності на ефективність ризик-менеджменту, а також на досягнення цільових показників вартості, тривалості виконання робіт і ресурсного забезпечення проєкту.

Теоретичне значення дисертації полягає у розвитку теоретико-методичних засад цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельного процесу на основі інтеграції цифрових технологій, економіко-математичного моделювання та ризик-орієнтованого підходу. Удосконалено наукові положення щодо управління вартістю, термінами, трудомісткістю та ресурсним забезпеченням будівництва з урахуванням цифрової зрілості учасників проєкту та впливу ризикових факторів. Подальшого розвитку набули теоретичні підходи до використання BIM-технологій, цифрових двійників, систем підтримки прийняття рішень та методів нечітких множин у процесах управління будівництвом.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування запропонованих методичних положень, моделей і рекомендацій підприємствами будівельної галузі, девелоперськими компаніями, проєктними організаціями для підвищення ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, забезпечення раціонального використання ресурсів і досягнення цільових економічних показників.

Обґрунтування економічних переваг застосування BIM сприятиме підвищенню ефективності використання інвестиційних ресурсів, забезпеченню прозорості фінансових потоків, зменшенню витрат протягом усього життєвого циклу об’єкта. Таким чином, дослідження доцільності застосування технологій інформаційного моделювання будівель у взаємозв’язку з усіма етапами життєвого циклу інвестиційно-будівельних проєктів має не лише теоретичне, а й вагоме практичне значення. Воно спрямоване на розроблення науково обґрунтованих підходів до оцінювання результативності цифрових інновацій у будівництві, удосконалення механізмів управління інвестиційними процесами та забезпечення сталого економічного розвитку будівельної галузі в умовах цифрової економіки.

Ключові слова: цифровізація, учасники будівництва, інвестиційно-будівельний проєкт, BIM-технології, цифрова зрілість, управління ризиками, управління вартістю, теорія нечітких множин, стейкхолдери, життєвий цикл проєкту, ефективність, трудомісткість, інноваційний розвиток, економічні параметри.

ABSTRACT

Rasputny D.S. Digital tools for managing economic parameters of investment and construction projects. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Thesis for the Doctor of Philosophy degree in specialty 051 – Economics, branch of knowledge 05 – Social and behavioral sciences. – Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2026

The dissertation is devoted to solving the current scientific and applied problem of developing theoretical and methodological provisions and developing practical recommendations for the formation and implementation of digital tools for managing the economic parameters of investment and construction projects in the conditions of digital transformation of the economy.

The relevance of the research topic is due to the need to increase the efficiency of the implementation of investment and construction projects, reduce costs, minimize risks and ensure high-quality coordination between participants in the construction process. Digitalization of the construction industry, the introduction of building information modeling technologies (BIM), data analysis tools, management decision-making support technologies and modern methods for assessing the effectiveness of projects determine new requirements for building systems for managing the economic parameters of investment and construction activities.

The paper examines the theoretical principles of the digital transformation of enterprises in the construction industry and substantiates the imperatives of their development in the conditions of digitalization of the economy. A SWOT analysis of the digital maturity of construction participants was conducted, which made it possible to determine the key factors of the readiness of industry entities to implement digital technologies and identify areas for increasing the efficiency of their use.

Particular attention was paid to the development of a digital toolkit to support management decisions regarding ensuring the labor intensity of construction based

on the use of the fuzzy set apparatus. The proposed approach allows taking into account the uncertainty, incompleteness and vagueness of information characteristic of investment and construction projects, which contributes to increasing the validity of management decisions.

The dissertation systematizes the factors influencing the economic efficiency of design decisions and builds a conceptual model for assessing their impact on the results of the implementation of investment and construction projects. The relationship between the level of material intensity of reinforced concrete works and the achievement of target economic indicators is considered.

A significant place in the study is occupied by the assessment of the economic efficiency of the use of building information modeling technologies at different stages of the life cycle of investment and construction projects. It is proven that the implementation of BIM technologies provides increased transparency of information flows, improved coordination between project participants, reduced work implementation times, reduced unproductive costs and increased economic efficiency of project activities.

A separate area of research is devoted to the analysis of risks that affect the achievement of the goals of construction participants in the context of the use of digital technologies. Approaches to identifying, assessing and monitoring the risks of digital transformation of investment and construction projects using modern digital management tools have been developed, and an approach to identifying the risks of deviations of real parameters of the construction process from the design ones using fuzzy sets, using labor intensity indicators as an example, has been proposed.

The first section of the study reveals the theoretical and methodological foundations for the digitalization of economic parameter management in investment and construction projects under the conditions of economic relations transformation. A comprehensive analysis of the evolution of scientific views regarding the application of digital technologies in construction was carried out, the concepts of the digital economy were summarized, and key areas of the industry's digital

transformation—which increasingly depends on the integration of cutting-edge tools into planning, monitoring, and control processes—were identified.

Significant attention is paid to studying modern digital technologies, particularly Building Information Modeling (BIM technologies) at all stages of a facility's life cycle. Their potential to improve resource utilization efficiency, enhance stakeholder coordination, and adapt advanced international experience to domestic practice was analyzed. The economic essence of investment and construction projects as complex systems is outlined, and the impact of digitalization on cost, schedule, quality, and risk management mechanisms is characterized.

The generalization of scientific sources showed that despite a high level of research on certain aspects, the formation of a holistic digital toolset for managing economic parameters remains insufficiently investigated. This necessitates the development of methodological approaches to assessing readiness for digitalization, analyzing factors influencing decision-making efficiency, and integrating BIM technologies into a unified management system.

Based on the analysis, a theoretical foundation was formed for the further development of scientific and methodological principles and the creation of practical tools. This substantiates the need to develop integrated models and methods that combine modern digital technologies with economic management and decision-support mechanisms to ensure the effective implementation of projects under digital transformation.

The second section of the study develops theoretical and methodological foundations for the digital monitoring of construction production parameters based on an analysis of the resource characteristics of monolithic reinforced concrete works. The proposed approach focuses on continuous observation of process execution parameters for the timely detection of deviations and the prevention of defects at early stages of project implementation.

Based on current resource element estimate norms, it was established that monolithic reinforced concrete works are the most representative: 44,68% of all normative positions in the collection constitute structural installation works, and the

cumulative share of works related to the manufacture of concrete and reinforced concrete elements exceeds 65% of the nomenclature. An evaluation parameter system was substantiated, covering work volumes, geometric characteristics, material properties, reinforcement parameters, and resource intensity.

Statistical analysis made it possible to determine the main quantitative characteristics of the processes: for the installation of monolithic reinforced concrete structures, the average labor intensity is 382,75±92,86 person-hours per 100 m^3, for surface concreting – 18,96±22,75 person-hours per 100 m^3, and for reinforcement works – 41,47±20,41 person-hours per 1 ton of reinforcement. To execute 100 m^3 of monolithic structures, an average of 139,54±31,9 tons of building materials is used, while 1 ton of reinforcement accounts for 29,41±16,35 tons of associated materials.

Based on the results of correlation and regression analysis, a stable direct relationship between labor intensity and the mass of materials was confirmed: for volumetric structures, each additional ton requires 2,11±0,103 person-hours of labor, and for reinforcement works – 0,59±0,17 person-hours. The obtained dependencies substantiate the use of material resource mass as a key parameter for forecasting labor intensity and monitoring construction processes.

The third section of the dissertation develops a conceptual model for the digital management of economic parameters in investment and construction projects based on the integration of a digital environment (BIM, GIS, IoT, ERP, CDE, Digital Twin), economic and mathematical models, risk assessment, and participants' digital maturity. The approach ensures the interconnection between economic indicators, the level of digital transformation, and environmental risks.

To identify and analyze risks under uncertainty, the application of Fuzzy Logic, Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy DEMATEL methods, and fuzzy cognitive maps was substantiated. The inclusion of a digital maturity assessment block for the developer, client, designer, and contractor ensures the generation of recommendations for achieving target cost, schedule, and resource supply parameters.

Modern approaches to organizing the design process as a key prerequisite for

risk management were investigated. Directions for increasing efficiency were identified, including decision optimization, multi-variant design, parallel execution of works, digitalization of documentation, parametric design, and early stakeholder involvement, which helps shorten the investment cycle duration and reduce risks.

A scientific and methodological approach to digital risk management was developed using fuzzy set theory, where labor intensity is considered an integral indicator of deviations from project requirements. It was substantiated that excessive deviation of labor costs (both downward and upward) indicates a violation of the technological process and the emergence of risks.

An approach to assessing labor intensity limits based on type-2 fuzzy numbers and asymmetric fuzzification was proposed to account for pessimistic scenarios. A methodological approach to zoning actual labor intensity into acceptable, risky, and critical areas using bell-shaped membership functions was formed, ensuring proactive risk identification and decision support in a digital environment based on BIM technologies and intelligent analytics.

The scientific novelty of the results obtained lies in the development of a comprehensive approach to managing the economic parameters of the investment and construction process based on the use of digital tools that combine tools for fuzzy set risk modeling, BIM technologies, a system for digital management of construction parameters, and an assessment of the digital maturity of construction participants into a comprehensive system for improving the quality and predictability of the construction process.

Improved:

– a conceptual approach to building a model of digital management of economic parameters of investment and construction projects throughout the life cycle, which, unlike existing approaches, provides integration in a single digital information environment of BIM, GIS, IoT, ERP, CDE and Digital Twin technologies with a fuzzy risk assessment system, tools for determining the level of digital maturity of project participants and an intelligent decision support system, which allows for adaptive management of cost, time and resource parameters of

construction in real time, taking into account the uncertainty of the external and internal environment;

– scientific and methodological foundations of risk-oriented management of construction parameters, which are proposed to be based on a combination of economic and mathematical modeling of the labor intensity of construction work with fuzzy logic methods and provide predictive assessment of risks of deviation of construction product parameters from design characteristics in conditions of uncertainty, incompleteness and qualitative heterogeneity of information support for construction production. The scientific and methodological approach involves the formation of interval limits of construction parameters taking into account the uncertainty of organizational, technological, material and personnel factors, and the use of the fuzzy set apparatus allows taking into account the vagueness, incompleteness and expert nature of the input information during risk assessment;

– theoretical provisions on predicting construction parameters by determining the labor intensity of reinforced concrete works based on a system of operational control factors, in particular, geometric characteristics of structures, volumes of work performed, quality indicators of concrete mix and hardened concrete, reinforcement parameters, as well as the level of compliance with technological operations. The proposed approach provides the ability to evaluate not only the final results of construction, but also the current state of implementation of the construction process at all stages of creating a structure, which contributes to the timely detection of deviations from design solutions, establishing the causes of defects and increasing the reliability of forecasting economic parameters of construction projects;

The following have been further developed:

– theoretical principles for increasing the efficiency of construction enterprises in the digital environment, which have been developed by substantiating the interdependence between the degree of digital transformation of business processes and the dynamics of the main economic parameters of construction (cost, completion time, quality and risk level). This made it possible to form a theoretical

basis for interpreting digitalization not only as a modern stage in the development of economic systems and a new format of information interaction between participants in construction activities, but also as a key factor in qualitative changes in the construction process, which provides the possibility of targeted management of project parameters throughout its life cycle;

– a toolkit for predicting construction parameters, based on a fuzzy-multiple representation of economic and mathematical models, which is supplemented by regulatory intervals of permissible labor costs. This provides the possibility of timely detection of deviations of construction work from rational modes of their execution and prevention of deviations of the actual characteristics of construction products from planned indicators. Based on the constructed single-factor models for monolithic reinforced concrete structures and reinforcement processes, an approach to interval labor intensity assessment is proposed, which integrates regression analysis and fuzzy logic methods. Within the framework of this approach, the mass of materials, products and structures is used as a basic parameter for operational monitoring of technological processes, which allows forming digital criteria for assessing the compliance of actual labor costs with rational conditions for performing construction work.;

– a methodological approach to assessing digital maturity in project participants, which is based on determining the level of development of BIM technologies, digital competencies of personnel, automation of business processes, data integration, cybersecurity and digital risk management, resulting in the formation of an integral digital maturity index, which made it possible to determine the impact of the level of digital transformation of construction participants on the effectiveness of risk management and the achievement of cost, time and resource support targets.

– a methodological approach to assessing the digital maturity of construction project participants, which involves comprehensive consideration of the level of implementation of BIM technologies, the development of digital competencies of personnel, the degree of automation of business processes, the integration of

information flows, the state of cybersecurity and digital risk management practices. The result of applying the approach is the calculation of an integral digital maturity index, which makes it possible to assess the impact of the level of digital transformation of construction activity entities on the effectiveness of risk management, as well as on the achievement of cost, duration and resource support targets of the project.

The theoretical significance of the dissertation lies in the development of theoretical and methodological principles of digital management of economic parameters of the investment and construction process based on the integration of digital technologies, economic and mathematical modeling and a risk-oriented approach. Scientific provisions on the management of cost, terms, labor intensity and resource provision of construction have been improved, taking into account the digital maturity of project participants and the influence of risk factors. Theoretical approaches to the use of BIM technologies, digital twins, decision support systems and fuzzy set methods in construction management processes have been further developed.

The practical significance of the results obtained lies in the possibility of applying the proposed methodological provisions, models and recommendations by construction enterprises, development companies, design organizations to increase the efficiency of the implementation of investment and construction projects, ensure the rational use of resources and achieve target economic indicators.

Substantiation of the economic benefits of using BIM will contribute to increasing the efficiency of investment resources, ensuring transparency of financial flows, reducing costs throughout the entire life cycle of the facility. Thus, the study of the feasibility of using building information modeling technologies in connection with all stages of the life cycle of investment and construction projects has not only theoretical, but also significant practical significance. It is aimed at developing scientifically based approaches to assessing the effectiveness of digital innovations in construction, improving investment process management mechanisms and ensuring sustainable economic development of the construction industry in the

digital economy.

Keywords: digitalization, construction participants, investment and construction project, BIM technologies, digital maturity, risk management, cost management, fuzzy set theory, stakeholders, project life cycle, efficiency, labor intensity, innovative development, economic parameters.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних наукових виданнях, що увійшли до переліку наукових фахових видань України:

1. Титок В.В., **Распутний Д.С.** Імперативи управління розвитком підприємств в умовах цифровізації економіки. *Цифрова економіка та* економічна безпека, 2023, 7(08), 75-79. https://doi.org/10.32782/dees.7-12 *Особистий внесок здобувача: здійснено аналіз індексу цифрової конкурентоспроможності України та показників діяльності підприємств в умовах цифровізації економіки, а також визначено імперативи й принципи управління їхнім розвитком.*

2. **Распутний Д.С.**, Коваль О.О., Пилюта В.О. SWOT-аналіз цифрової зрілості учасників будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023, 52(1), 227-237. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).227-237. *Особистий внесок здобувача: проведено комплексний SWOT-аналіз цифрової зрілості ключових учасників інвестиційно-будівельних проєктів (девелоперів, підрядників і проєктувальників) та визначено їхні сильні й слабкі сторони, можливості та загрози в умовах цифрової трансформації галузі.*

3. Філіппов О.В., **Распутний Д.С.** Цифровий інструментарій управління якістю будівництва на основі теорії нечітких множин. *Нові технології в будівництві*, 2024, 45, 83-93. https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.45.12. *Особистий внесок здобувача: розроблено та обґрунтовано науково-методичний підхід до моделювання трудомісткості малярних робіт і формуванні цифрового інструментарію управління якістю будівництва на основі поєднання статистичних методів і апарату теорії нечітких множин.*

4. Чертков О.Ю., Шумак Л.В., **Распутний Д.С.** Аналіз факторів впливу на ефективність проектних рішень. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024, 53(2), 123-141. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(2).123-141. *Особистий внесок здобувача: досліджено та*

систематизовано зовнішні і внутрішні фактори, що впливають на ефективність проєктних рішень у будівництві, а також у розроблено авторські таблиці і методичні кроки щодо вдосконалення проєктної діяльності в умовах ринкових відносин.

5. **Распутний Д.С.**, Титок В.В. Оцінка економічної ефективності використання технологій інформаційного моделювання будівель на різних етапах життєвого циклу інвестиційно-будівельних проектів. *Наукові записки Львівського університету бізнесу та права*, 2025, (45), 598-608. https://doi.org/10.5281/zenodo.17155723. *Особистий внесок здобувача: визначено ролі та оцінно-економічну ефективність застосування технологій інформаційного моделювання будівель (BIM) для оптимізації строків, витрат і забезпечення якості на різних етапах життєвого циклу інвестиційно-будівельних проєктів.*

6. Чертков О.Ю., **Распутний Д.С.** Ризики, що впливають на досягнення цілей будівельних організацій-генпідрядників при реалізації інвестиційно-будівельних проєктів у контексті застосування цифрових технологій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва,* 2025, 56(1), 219-223. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).219-223. *Особистий внесок здобувача: визначено ризики, що впливають на досягнення цілей будівельних організацій-генпідрядників при реалізації інвестиційно-будівельних проєктів у контексті застосування цифрових технологій, та запропоновано рекомендації щодо створення інтегрованої системи цифрового ризик-менеджменту для підвищення ризикостійкості компаній.*

Монографії:

7. **Распутний Д.С.** Цифрове управління параметрами будівництва (на прикладі монолітних робіт). *Цифрова трансформація будівництва: стратегічна адженда організаційно-економічного розвитку*: колективна монографія /за загальною редакцією С. П. Стеценка. Київ: Видавництво Людмила, 2026. 460 с. ISBN 978-617-555-402-9

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

тези доповідей на конференціях:

8. **Распутний Д.С.**, Беседа М.В., Тимофєєв Д.В. Діяльність стейкхолдерів будівельних проектів на засадах інноваційної моделі розвитку. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу: матеріали доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Київ, 7-8 листопада 2023 року) у 2-х ч. / за заг. ред. В. М. Лича. Ч. 1. Київ: КНУБА, 2023. С. 245-248. *Особистий внесок здобувача: запропоновано напрями взаємодії стейкхолдерів будівельних проєктів на засадах інноваційної моделі розвитку, що враховують їхню цифрову зрілість та особливості реалізації завдань в умовах цифрової трансформації галузі.*

9. **Распутний Д.С.**, Беседа М.В., Тимофєєв Д.В. Вплив стейкхолдерів будівельних проектів на економічну безпеку девелопера. *Програма та тези доповідей. Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології: Міжнародний науково-технічний форум* (15-16 листопада 2023 р., м. Київ). – Київ: Видавництво Ліра-К, 2023. С. 442. *Особистий внесок здобувача: визначено вплив стейкхолдерів будівельних проєктів на економічну безпеку девелопера та обґрунтовано організаційно-економічні заходи щодо мінімізації їх деструктивного впливу для забезпечення стійкого розвитку будівельного підприємства.*

10. Сиволап Ю.В., **Распутний Д.С.** Роль BIM у забезпеченні безпеки будівництва. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу: матеріали доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Київ, 5-6 листопада 2024 року) у 2-х ч. / за заг. ред. В. М. Лича. Ч. 1. Київ: КНУБА, 2024. С. 344-347. *Особистий внесок здобувача: визначено роль та значення технологій інформаційного моделювання (BIM) у забезпеченні безпеки та ризик-орієнтованого управління інвестиційно-будівельними проєктами на різних етапах їх життєвого циклу.*

11. **Распутний Д.С.** Використання BIM для забезпечення координації між учасниками будівельного процесу. *Програма Круглого столу "Економічні,*

облікові, організаційно-технологічні, цифрові та комунікаційні аспекти поліпшення освітнього та наукового процесів як передумови трансформації будівельної галузі" 29 жовтня 2024 р., м. Київ. С. 27.

12. **Распутний Д.С.** LEAN construction в життєвому циклі інвестиційно-будівельних проєктів. *Програма та тези доповідей. Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент:* Міжнародний науково-технічний форум (24-25 листопада 2025 р., м. Київ). – Київ: Видавництво Ліра-К, 2025. С. 477-478

13. Титок В.В., **Распутний Д.С.** Оптимізація інвестиційно-будівельних проєктів: BIM-технології як фактор інноваційного розвитку підприємств. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу*: матеріали доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 4-5 листопада 2025 року) / за заг. ред. В.М. Лича, Л.О. Згалат-Лозинської. Київ: КНУБА, 2025. С. 495-496. *Особистий внесок здобувача: визначено роль та ефективність впровадження BIM-технологій як ключового фактора інноваційного розвитку підприємств і оптимізації процесів реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.*

ЗМІСТ

ВСТУП..... 26
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ТА ЕКОНОМІЧНІ НАСЛІДКИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЄКТІВ……. 40
1.1. Теоретичні засади цифровізації діяльності учасників будівництва 40
1.2. Економічна сутність та особливості управління інвестиційно-будівельними проєктами в умовах цифровізації…… 57
1.3. Цифрові технології управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів……. 67
Висновки до розділу 1..... 81
Розділ 2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНЕ ПІДҐРУНТЯ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БУДІВНИЦТВА……. 84
2.1. Статистичне оцінювання параметрів будівництва (на прикладі бетонних робіт)…….……..... 84
2.2. Економіко-математичне моделювання параметрів будівництва (на прикладі бетонних робіт)…… 103
2.3. Аналіз готовності до впровадження цифрового інструментарію та оцінювання цифрової зрілості учасників інвестиційно-будівельних проєктів……... 114
Висновки до розділу 2..... 132
РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ В УПРАВЛІННІ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЄКТАМИ…… 135
3.1. Концептуальна модель цифрового управління економічними параметрами проєктів на різних етапах життєвого циклу об’єкту будівництва..... 135

3.2. Удосконалення процесу проєктування як передумова побудови ефективної системи управління ризиками…….…….. 146
3.3. Обґрунтування цифрового інструментарію управління ризиками будівництва на основі теорії нечітких множин……... 156
3.4. Практичні рекомендації щодо впровадження цифрового інструментарію управління інвестиційно-будівельними проєктами у навчальний процес КНУБА……... 175
Висновки до розділу 3…… 179
Загальні висновки…… 182
Список використаних джерел…… 191
Додатки……..... 218

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасний розвиток будівельної галузі відбувається в умовах стрімкої цифрової трансформації економіки, ускладнення інвестиційних процесів та зростання рівня невизначеності зовнішнього середовища. Інвестиційно-будівельні проєкти характеризуються значною тривалістю реалізації, високою капіталомісткістю, великою кількістю учасників та складною системою організаційно-економічних взаємозв'язків. За таких умов особливого значення набуває забезпечення ефективного управління економічними параметрами проєктів, насамперед вартістю будівництва, термінами виконання робіт, трудомісткістю та ризиками. Від якості управлінських рішень щодо зазначених параметрів значною мірою залежить успішність реалізації проєкту, рівень досягнення його цільових показників та конкурентоспроможність учасників інвестиційно-будівельної діяльності.

Особливої актуальності зазначена проблематика набуває в умовах цифровізації будівельної галузі та переходу до концепцій Construction 4.0, Smart Construction і цифрового управління життєвим циклом об'єктів будівництва. Інтенсивне впровадження технологій інформаційного моделювання будівель (BIM), цифрових двійників (Digital Twin), систем управління ресурсами підприємства (ERP), хмарних платформ спільної роботи (CDE), Інтернету речей (IoT), великих даних (Big Data) та інструментів штучного інтелекту створює нові можливості для підвищення прозорості інвестиційно-будівельних процесів, оперативного моніторингу реалізації проєктів і вдосконалення механізмів прийняття управлінських рішень. Водночас практика свідчить, що наявність значних обсягів цифрових даних сама по собі не гарантує підвищення ефективності управління, якщо відсутній науково обґрунтований інструментарій їх використання для оцінювання економічних параметрів та управління ризиками проєкту.

Актуальність дослідження посилюється тим, що сучасні інвестиційно-будівельні проєкти реалізуються в умовах високої динамічності зовнішнього середовища. Зростання вартості будівельних ресурсів, інфляційні процеси, порушення логістичних ланцюгів, зміни нормативно-правового регулювання, дефіцит трудових ресурсів, кіберзагрози, а також наслідки воєнних дій суттєво підвищують рівень ризиків та невизначеності у будівництві. У таких умовах традиційні методи управління, що базуються переважно на ретроспективному аналізі та статистичних підходах, часто виявляються недостатньо ефективними для своєчасного виявлення ризиків і прогнозування відхилень від запланованих економічних параметрів проєкту.

Водночас значна частина факторів, які впливають на результати будівництва, характеризується нечіткістю, неповнотою та суб'єктивністю інформації. Це стосується оцінювання ризиків, прогнозування строків виконання робіт, визначення потреб у ресурсах, оцінювання продуктивності праці, якості виконання будівельних процесів та цифрової зрілості учасників будівництва. Зазначені обставини обумовлюють необхідність використання сучасних математичних методів, які дозволяють формалізувати невизначеність та враховувати експертні оцінки під час прийняття рішень. Одним із найбільш перспективних напрямів у цьому контексті є застосування теорії нечітких множин, яка дозволяє моделювати ризики та економічні параметри інвестиційно-будівельних проєктів в умовах неповної визначеності та забезпечує формування більш гнучких управлінських рішень.

Важливим аспектом дослідження є також необхідність оцінювання рівня цифрової зрілості учасників інвестиційно-будівельного процесу. Ефективність використання BIM-технологій, цифрових платформ, систем управління проєктами та інструментів аналітики значною мірою залежить від готовності девелоперів, замовників, проєктних і підрядних організацій до цифрової трансформації. Проте питання взаємозв'язку між цифровою зрілістю учасників будівництва, рівнем ризиків та економічними результатами реалізації проєктів

досі залишаються недостатньо дослідженими як у вітчизняній, так і у зарубіжній науковій літературі.

Аналіз наукових праць свідчить, що значна увага приділяється окремим аспектам цифровізації будівництва, управління ризиками, оцінювання інвестиційної ефективності та застосування економіко-математичних моделей. Проте недостатньо дослідженими залишаються питання комплексної інтеграції цифрових технологій, методів управління ризиками на основі теорії нечітких множин, інструментів оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва та економіко-математичних моделей управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів протягом усього життєвого циклу об'єкта будівництва.

Таким чином, актуальність теми дисертації зумовлена необхідністю розроблення науково обґрунтованого цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, який забезпечуватиме інтеграцію сучасних цифрових технологій, економіко-математичних методів і ризик-орієнтованого підходу до управління. Вирішення зазначеного наукового завдання сприятиме підвищенню обґрунтованості управлінських рішень, зниженню рівня ризиків, покращенню прогнозування вартості та строків будівництва, підвищенню ефективності використання інвестиційних ресурсів і забезпеченню успішної реалізації будівельних проєктів в умовах цифрової трансформації економіки.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Проведені в роботі дослідження та одержані результати за змістом і тематичною спрямованістю відповідають планам науково-дослідних робіт Київського національного університету будівництва і архітектури: «Розробка інжинірингового інструментарію для інвестиційно-будівельних проектів» (номер державної реєстрації 0124U005197) – автором розроблено та обґрунтовано науково-методичні засади і практичний інжиніринговий інструментарій для оптимізації економічних параметрів, управління ризиками та впровадження технологій інформаційного моделювання (BIM) у процесі

реалізації інвестиційно-будівельних проєктів; «Сучасні парадигми та креативні технології формування стратегій учасників проєктів і програм в будівництві» (номер державної реєстрації 0123U103887) – автором розроблено та обґрунтовано науково-методичні підходи до формування стратегій учасників інвестиційно-будівельних проєктів із використанням цифрових технологій, інформаційного моделювання (BIM) та інструментів ризик-менеджменту в умовах ринкових трансформацій; «Механізми цифрової трансформації будівництва на макро-, мезо- та мікроекономічних рівнях» (номер державної реєстрації 0119U103843) – автором розроблено та обґрунтовано науково-методичні засади і практичні рекомендації щодо застосування технологій інформаційного моделювання (BIM), цифрових платформ та ризик-менеджменту в управлінні інвестиційно-будівельними проєктами на мікро- та мезорівнях.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розроблення теоретико-методичної основи і науково-практичних рекомендацій щодо формування цифрового інструментарію забезпечення економічних параметрів інвестиційно-будівельних проєктів на основі інтеграції економіко-математичного моделювання, технологій цифрового будівництва, оцінювання цифрової зрілості учасників та ризик-орієнтованого підходу в умовах невизначеності.

Для досягнення поставленої у роботі мети вирішено ряд завдань:

- досліджено теоретичні засади цифровізації діяльності будівельних підприємств;

- проаналізовано економічну сутність та особливості управління інвестиційно-будівельними проєктами в умовах цифровізації;

- систематизовано цифрові технології, фактори впливу та інструменти управління економічними параметрами проєктів, виявлено економічні переваги впровадження BIM-технологій на різних етапах життєвого циклу об’єкта;

- здійснено статистичне оцінювання основних параметрів бетонних робіт;

- розроблено комплекс економіко-математичних моделей оцінювання економічних параметрів будівництва (на прикладі бетонування);

- здійснено аналіз можливостей цифровізації підрядних підприємств та виявлено фактори цифрової зрілості учасників будівництва;

- сформовано концептуальну модель цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів протягом життєвого циклу об'єкта будівництва;

- досліджено організаційно-економічні аспекти удосконалення процесу проєктування як передумови підвищення ефективності управління економічними параметрами та ризиками будівництва;

- обґрунтовано цифровий інструментарій управління ризиками відхилень параметрів будівництва на основі теорії нечітких множин;

- запропоновано практичні рекомендації щодо впровадження результатів в освітній процес.

Об’єктом дослідження є система планування, організації, контролю економічних параметрів будівництва та інструменти діагностування ризиків їх відхилень протягом життєвого циклу об'єкта.

Предметом дослідження сукупність методів, моделей, цифрових технологій та організаційно-економічних інструментів економічного оцінювання та управління економічними параметрами будівництва в умовах ризику та невизначеності.

Методи дослідження. У процесі дослідження використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, що забезпечило вирішення поставлених наукових завдань щодо розроблення цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів в умовах ризику, невизначеності та цифрової трансформації будівельної галузі.

Методологічною основою дослідження став системний підхід, який дозволив розглядати інвестиційно-будівельний проєкт як складну соціально-економічну систему, функціонування якої визначається взаємодією

економічних, організаційних, технологічних та інформаційних складових протягом усього життєвого циклу об’єкта будівництва. Застосування системного підходу дало можливість дослідити взаємозв’язки між економічними параметрами проєкту, ризиками, цифровою зрілістю учасників будівництва та цифровим інформаційним середовищем, а також сформувати концептуальну модель цифрового управління проєктом.

Для дослідження теоретичних засад управління інвестиційно-будівельними проєктами, цифровізації будівництва та ризик-орієнтованого управління використовувалися методи аналізу і синтезу, індукції та дедукції, наукової абстракції, порівняння, систематизації та узагальнення, що дозволило дослідити еволюцію наукових підходів до управління економічними параметрами будівництва, визначити роль цифрових технологій у підвищенні ефективності реалізації проєктів та сформувати авторське бачення цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів.

Статистичні методи, зокрема методи групування, аналізу динамічних рядів, розрахунку абсолютних, відносних та середніх величин, використовувалися для дослідження параметрів процесу бетонування. Для встановлення кількісних взаємозв’язків між економічними параметрами будівництва та чинниками впливу застосовано методи кореляційно-регресійного аналізу, що дозволили визначити характер і силу залежностей між трудомісткістю робіт, потребою в ресурсах, економіко-технологічними особливостями проєкту та іншими показниками будівельного виробництва. Перевірка адекватності побудованих моделей здійснювалася із використанням коефіцієнтів детермінації, показників статистичної значущості та стандартних критеріїв оцінювання якості економіко-математичних моделей.

Для оцінювання ризиків відхилень параметрів будівельного процесу від плану в умовах невизначеності використано математичний апарат теорії нечітких множин, який дозволяє враховувати нечіткість, неповноту та суб’єктивність інформації. Це надало можливість розробити підхід до

зонування фактичної трудомісткості будівельних робіт, формування зон допустимих, ризикових і критичних відхилень параметрів будівництва та реалізувати концепцію випереджувального управління ризиками.

Для побудови цифрового інструментарію моніторингу та підтримки прийняття управлінських рішень використано методи системного й компаративного аналізу, що дозволили обґрунтувати структуру цифрового середовища управління проєктом, визначити механізми взаємодії між його учасниками та сформувати систему цифрового контролю економічних параметрів будівництва.

Під час оцінювання цифрової зрілості учасників інвестиційно-будівельних проєктів застосовано методи SWOT-аналізу, які забезпечили можливість визначення сильних і слабких сторін рівня впровадження цифрових технологій.

Комплексне використання зазначених методів дослідження забезпечило наукову обґрунтованість отриманих результатів, дозволило розробити концептуальну модель цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, удосконалити підходи до оцінювання ризиків на основі теорії нечітких множин, обґрунтувати інструментарій оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва та сформувати методичні рекомендації щодо підвищення ефективності будівництва на всіх етапах життєвого циклу об’єкту.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробленні та науковому обґрунтуванні комплексного підходу до управління економічними параметрами інвестиційно-будівельного процесу на основі використання цифрового інструментарію, який забезпечує інтегроване управління вартістю, термінами, ресурсами та ризиками на основі органічного поєднання BIM-технологій, інструментів нечітко-множинного моделювання ризиків, цифрового управління параметрами будівництва, оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва, які функціонують у єдиному цифровому

середовищі, що сприяє підвищенню ефективності реалізації та якості прийняття управлінських рішень, зокрема:

удосконалено:

–науково-методичні засади ідентифікації та оцінювання ризиків інвестиційно-будівельних проєктів (на прикладі моделей зведення монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій), який базується на поєднанні однофакторних економіко-математичних моделей трудомісткості будівельних робіт із апаратом нечітких множин та дозволяє здійснювати зонування фактичного впливу витрат праці робітників на ступені ризику відхилення параметрів будівельної продукції від проєктних вимог. Такий підхід дозволяє забезпечити перехід від контролю фактичних результатів будівництва до випереджувального моніторингу його параметрів на основі інтервальної оцінки допустимих значень трудомісткості, сформованої з урахуванням невизначеності організаційних, технологічних, матеріальних і кваліфікаційних чинників будівельного виробництва, а використання апарату нечітких множин дозволяє враховувати нечіткість, неповноту та експертний характер вхідної інформації;

–концептуальний підхід до цифрового управління економічними параметрами будівництва на основі конвергенції інформаційно-моделюючих (BIM, GIS, Digital Twin), даних моніторингу (IoT), корпоративних систем управління (ERP, CDE), методів нечіткої логіки та інтелектуальної підтримки прийняття рішень, що забезпечує формування єдиного цифрового контуру управління процесом будівництва, у межах якого рівень цифрової зрілості учасників та ризики проєкту безпосередньо враховуються під час прогнозування та коригування ключових економічних параметрів будівництва, що дозволяє здійснювати адаптивне управління в режимі реального часу з урахуванням невизначеності зовнішнього і внутрішнього середовища;

–теоретична основа для прогнозування параметрів будівництва, на прикладі трудомісткості залізобетонних робіт, які запропоновано визначати в

залежності від ряду чинників оперативного контролю (геометричні характеристики конструкцій, обсяги виконаних робіт, показники якості бетонної суміші та затверділого бетону, параметри армування, дотримання технологічних операцій), що дозволяє оцінювати не лише кінцевий результат будівництва, але й поточний стан виконання будівельного процесу на всіх етапах створення конструкції. Такий підхід забезпечує можливість своєчасного виявлення відхилень від проєктних рішень, встановлення причин виникнення дефектів та підвищення достовірності прогнозування економічних параметрів будівництва;

набули подальшого розвитку:

–теоретичні положення щодо економічного змісту підвищення ефективності функціонування підприємств будівельної галузі в цифровому середовищі, які доповнено встановленням взаємозв'язку між рівнем цифрової трансформації бізнес-процесів та зміною ключових економічних параметрів будівництва (вартості, тривалості, якості та ризиків), що дозволило сформувати теоретичне підґрунтя щодо розгляду цифровізації не тільки як глобальної тенденції розвитку економічних систем і принципово нового підходу до обміну інформацією і взаємодії учасників будівництва, але й розглядати цей процес у якості рушійної сили якісних трансформацій будівельного процесу, який дозволить цілеспрямовано впливати на параметри проєкту протягом його життєвого циклу;

–інструментарій прогнозування параметрів будівництва, який базується на основі нечітко-множинного опису економіко-математичних моделей, що дало можливість встановити нормативні зони допустимих витрат праці та використовувати їх для своєчасного виявлення відхилень технологічного процесу від раціональних умов виконання робіт і попередження відхилень від планових параметрів будівельної продукції. Таким чином, на основі встановлених однофакторних моделей для монолітних залізобетонних конструкцій та робіт з армування розроблено підхід до інтервального оцінювання трудомісткості, який поєднує регресійний аналіз із методами

нечіткої логіки. Це дозволяє використовувати масу матеріалів, виробів і конструкцій як ключовий параметр оперативного моніторингу технологічних процесів та формувати цифрові критерії контролю відповідності фактичних витрат праці раціональним умовам виконання будівельних робіт**;**

–методичний підхід до оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва**,** який базується на результатах SWOT-аналізу можливостей і обмежень цифровізації підрядних підприємств та передбачає систематизацію ключових факторів цифрового розвитку учасників інвестиційно-будівельних проєктів, серед яких рівень впровадження BIM-технологій, цифрові компетентності персоналу, автоматизацію бізнес-процесів, інтеграцію та управління даними, цифрову комунікацію, кібербезпеку, цифрове управління ризиками, використання технологій Industry 4.0, управлінську підтримку цифрової трансформації, розвиток цифрової інфраструктури, інноваційну активність та цифрову культуру організації, що дозволило сформувати методичне підґрунтя для комплексного оцінювання рівня цифрової зрілості учасників будівництва, визначення їх готовності до функціонування в цифровому середовищі та обґрунтування пріоритетних напрямів цифрової трансформації.

Теоретичне значення дисертації полягає у розвитку теоретичних засад цифрового управління економічними параметрами будівництва шляхом обґрунтування концептуальних підходів до інтеграції цифрових технологій, економіко-математичного моделювання та ризик-орієнтованого управління в єдину систему підтримки прийняття управлінських рішень протягом життєвого циклу об’єкта. Удосконалено наукові положення щодо управління економічними параметрами інвестиційно-будівельного процесу на основі комплексного врахування вартості, термінів реалізації, трудомісткості, ресурсного забезпечення, цифрової зрілості учасників проєкту та ризикових факторів, що розширює наукові уявлення про механізми забезпечення ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах цифрової трансформації економіки.

Набули подальшого розвитку теоретичні положення щодо цифровізації процесів управління будівництвом через обґрунтування ролі BIM-технологій, цифрових двійників, інтегрованих інформаційних середовищ та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у забезпеченні досягнення цільових економічних параметрів проєкту. Розвинуто теоретико-методичні засади управління ризиками інвестиційно-будівельних проєктів на основі використання теорії нечітких множин, що дозволяє формалізувати невизначеність та враховувати вплив ризикових факторів на економічні результати будівництва. Подальшого розвитку набули також наукові підходи до оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва як складової системи цифрового управління проєктами та важливого чинника підвищення ефективності управлінських рішень у будівельній сфері.

Практичне значення дисертації полягає у використанні отриманих результатів як методичної та інформаційно-аналітичної бази для цифрового управління будівництвом на всіх етапах його життєвого циклу.

Практична цінність розробленої концептуальної моделі цифрового управління полягає в забезпеченні комплексного оцінювання економічних параметрів за допомогою передових цифрових технологій та економіко-математичних методів. Це дає змогу підвищити точність прогнозування вартості, строків і ресурсних потреб, завчасно ідентифікувати критичні ризики та прогнозувати їхній вплив на результати проєкту, а також формувати обґрунтовані стратегії реагування в умовах зовнішньої невизначеності. Крім того, модель створює єдиний цифровий простір для прозорої взаємодії стейкхолдерів, оптимізує управлінські рішення для раціонального використання інвестицій та мінімізує імовірність перевищення кошторисів і зриву графіків.

Вагомим прикладним ефектом володіє запропонований підхід до оцінювання рівня цифрової зрілості учасників проєкту, застосування якого сприяє зростанню економічної стійкості й конкурентоспроможності будівельних підприємств. Водночас комплекс економіко-математичних

моделей визначення параметрів бетонування та управління ризиками на основі нечітких множин уможливлює безперервний моніторинг, превентивний контроль і операційне усунення відхилень від проєктних завдань.

Практична реалізація авторських розробок у виробничій діяльності ТОВ «Будівельна компанія «ІнжТехБуд» (довідка від 22.10.2026 р. № 03-01) та ТОВ «БК «Київградосервіс» (довідка від 30.04.2026 р. № 30/04/26-3) підтвердила високу результативність запропонованих підходів до цифрового менеджменту, моніторингу трудомісткості та діагностики цифрової зрілості, що забезпечило оптимізацію ресурсів і зниження непродуктивних втрат у перспективі. Своєю чергою, впровадження результатів дослідження в освітній процес Київського національного університету будівництва і архітектури (довідка № 3110/52-21/3/26 від 05.10.2026 р.) дозволило інтегрувати сучасні науково-методичні засади BIM-моделювання, середовища CDE та ризик-менеджменту в підготовку висококваліфікованих фахівців галузі.

Особистий внесок здобувача полягає у самостійному виконанні наукового дослідження, формуванні його концептуальних засад, розробленні теоретичних положень, методичних підходів і практичних рекомендацій щодо цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, оцінювання ризиків та підвищення ефективності управління будівництвом в умовах цифрової трансформації галузі.

Усі наукові результати, висновки та рекомендації, наведені в дисертації й опубліковані у наукових працях, отримані автором особисто та відображають його власний підхід до вирішення науково-практичного завдання, пов'язаного з розробленням концептуальних, методичних та прикладних засад цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів на різних етапах життєвого циклу об'єкта будівництва. Автором самостійно виконано аналіз наукових джерел, проведено теоретичні узагальнення, розроблено концептуальну модель цифрового управління, обґрунтовано підходи до оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва та ризиків на основі методів нечітких множин,

а також сформовано рекомендації щодо вдосконалення процесів управління проєктами будівництва.

Особистий внесок здобувача у наукові праці, опубліковані у співавторстві, конкретизовано у списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація результатів дослідження. Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи обговорено й апробовано на низці міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференцій, форумів і круглих столів. Отримані результати отримали позитивну оцінку наукової спільноти, що підтвердило актуальність обраної проблематики, наукову новизну та практичну значущість розробленого цифрового інструментарію управління інвестиційно-будівельними проєктами.

Зокрема, ключові положення дослідження оприлюднено на таких наукових заходах: III–V Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу» (м. Київ, 2023–2025 рр.) – де висвітлено питання інноваційного розвитку інвестиційно-будівельних проєктів, впливу стейкхолдерів на економічну безпеку девелопменту, ролі BIM-технологій у забезпеченні безпеки будівництва та використання цифрових інструментів для оптимізації економічних параметрів; Міжнародному науково-технічному форумі «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології» (м. Київ, 2023 р.) – де розглядалися проблеми впливу учасників будівельних проєктів на їхні ключові параметри; круглому столі «Економічні, облікові, організаційно-технологічні, цифрові та комунікаційні аспекти поліпшення освітнього та наукового процесів як передумови трансформації будівельної галузі» (м. Київ, 2024 р.) – де обговорювалися питання цифрової координації учасників будівельного процесу та впровадження BIM-технологій; Міжнародному науково-технічному форумі «Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент» (м. Київ, 2025 р.) – де представлено розробки щодо застосування цифрових технологій і систем

підтримки прийняття рішень в управлінні інвестиційно-будівельними проєктами.

Загалом результати дослідження повною мірою відображають теоретико-методичні та практичні засади вдосконалення систем управління економічними параметрами будівництва в умовах цифрової трансформації економіки.

Публікації. Основні наукові та практичні результати дослідження, сформульовані висновки та рекомендації автора повною мірою висвітлено у 13 наукових працях, зокрема у 6 статтях у наукових фахових виданнях України, 1 одноосібному розділі колективної монографії, а також у 6 публікаціях у збірниках матеріалів і тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 233 сторінки, у тому числі обсяг основного тексту – 151 сторінка. Робота містить 12 рисунків та 19 таблиць, список використаних джерел налічує 201 найменування (на 27 сторінках), а обсяг додатків становить 16 сторінок.

РОЗДІЛ 1
ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ТА ЕКОНОМІЧНІ НАСЛІДКИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1.1. Теоретичні засади цифровізації діяльності учасників будівництва

Цифровізація економіки є одним із головних трендів розвитку сучасного суспільства оскільки виступає фундаментальною основою трансформації виробничих, управлінських і комунікаційних процесів у всіх сферах господарської діяльності [1, 2]. Особливої актуальності процеси цифрової трансформації набувають у будівельній галузі, яка традиційно характеризується високою ресурсоємністю, значною кількістю учасників, складністю організаційно-технологічних зв'язків та необхідністю координації великої кількості інформаційних потоків протягом життєвого циклу інвестиційно-будівельного проєкту. У таких умовах цифровізація поступово перетворюється із додаткового інструменту підвищення ефективності діяльності підприємств на необхідну базову умову забезпечення конкурентоспроможності, економічної стійкості та інноваційного розвитку.

На сучасному етапі розвитку економічної науки цифровізація розглядається як процес упровадження цифрових технологій у виробничі, управлінські та комерційні процеси підприємства з метою створення нових можливостей для підвищення ефективності використання ресурсів, удосконалення процесів прийняття рішень та формування нових бізнес-моделей [3]. На відміну від автоматизації виробництва, яка передбачає переважно механізацію окремих операцій або процесів на будівельному майданчику, цифровізація формує якісно новий рівень функціонування учасників будівництва, забезпечуючи наскрізну інтеграцію інформаційних потоків, об'єднання різних учасників бізнес-процесів у єдиному цифровому середовищі та створення умов для оперативного оперування великими обсягами даних.

Слід підкреслити, що будівельна галузь є однією з найбільш складних сфер для реалізації цифрової трансформації [4, 6]. Це пов'язано насамперед із проектним характером діяльності, значною кількістю контрагентів, унікальністю кожного об'єкта будівництва, тривалими строками реалізації проєктів та високим рівнем залежності від зовнішніх факторів. Разом з тим саме ці особливості створюють значний потенціал для використання цифрових технологій. Інформаційні системи дозволяють інтегрувати відомості про технічні, економічні, фінансові та організаційні параметри проєктів, забезпечуючи підвищення точності управлінських рішень та зменшення втрат, пов'язаних із неузгодженістю дій окремих учасників будівництва.

Економічна сутність цифровізації діяльності будівельних підприємств полягає у створенні додаткової вартості за рахунок підвищення якості управління інформаційними ресурсами. Цифрові технології забезпечують скорочення витрат, пов'язаних із пошуком, передачею та обробкою інформації, зменшують ймовірність виникнення помилок, сприяють оптимізації ресурсного забезпечення проєктів і підвищують рівень прозорості будівельних процесів. У результаті підприємства отримують можливість більш ефективно управляти вартістю проєктів, термінами виконання робіт, якістю будівельної продукції та рівнем ризиків (рис. 1.1).

Теоретичною основою цифровізації діяльності будівельних підприємств виступає концепція цифрової трансформації бізнес-процесів [7, 8], відповідно до якої інформація розглядається як один із ключових виробничих ресурсів поряд із матеріальними, трудовими та фінансовими ресурсами. У межах даної концепції ефективність функціонування підприємства визначається не лише обсягом наявних ресурсів, а й здатністю організації швидко збирати, обробляти, аналізувати та використовувати інформацію для прийняття управлінських рішень. У будівництві це означає перехід від фрагментарного використання окремих інформаційних систем до формування комплексного цифрового середовища управління всіма стадіями реалізації інвестиційно-будівельного проєкту [9].

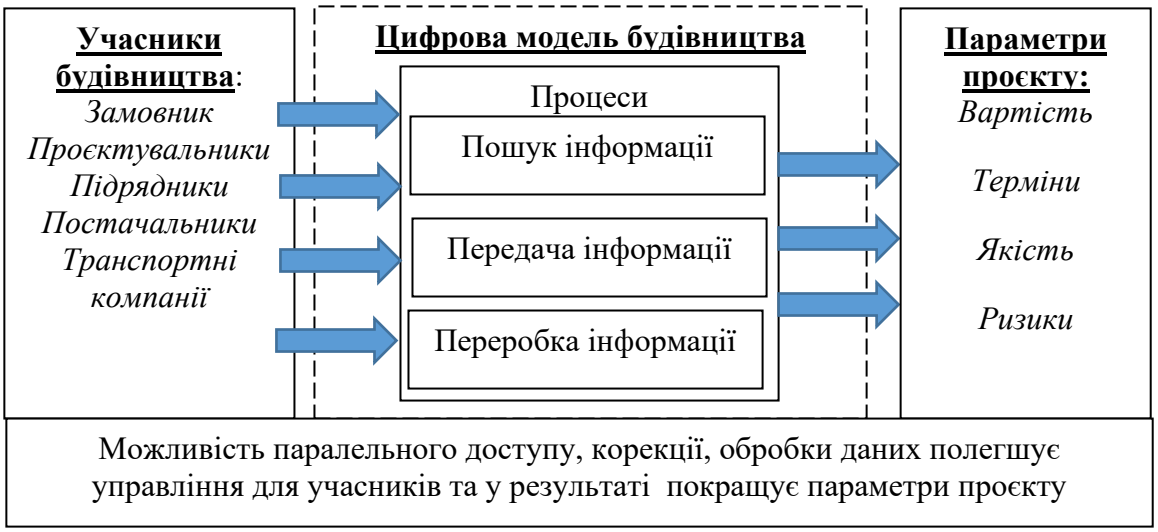


Рис. 1.1. Вплив цифрових технологій на параметри інвестиційно-будівельних проєктів

Джерело: розроблено автором

Цифровізація діяльності будівельних підприємств базується на сукупності взаємопов'язаних інформаційних і технологічних рішень, серед яких особливе місце займають технології інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM), цифрові платформи управління проєктами, хмарні технології, великі дані (Big Data), штучний інтелект, Інтернет речей (Internet of Things), цифрові двійники та системи підтримки прийняття рішень, значення яких підкреслюється багатьма вченими [7, 10–14]. Використання зазначених технологій створює передумови для переходу до комплексних цифрових систем, які забезпечують постійний обмін інформацією між усіма учасниками будівельного процесу.

Проблематика цифрової трансформації учасників будівництва та в цілому інвестиційно-будівельних проєктів перебуває на стику досліджень в областях економіки підприємства, інноваційно-інвестиційного проєктування, інформаційних технологій, управління проєктами, економіки будівництва, інформаційного моделювання будівель, цифрових безпекових технологій та систем підтримки управлінських рішень (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Проблематика цифрової трансформації інвестиційно-будівельних проєктів в контексті різних напрямків дослідження

Джерело: розроблено автором

Теоретичні основи економіки будівництва, управління інвестиційними процесами та функціонування будівельних підприємств, які слугують основою для даного дослідження, висвітлені у працях таких українських

учених як В.Г. Федоренко, П.С. Рогожин та А.Ф. Гойко [16, 17], В.І. Савенко [18], де досліджено економічну природу інвестиційно-будівельної діяльності, принципи забезпечення конкурентоспроможності будівельних підприємств, механізми формування економічної ефективності та особливості функціонування суб'єктів будівельного ринку. Питання девелопменту як особливого виду інвестиційно-будівельної діяльності висвітлено у роботах Т.Є. Кіщенко та Л.В. Гусарової, О.Ю. Бєлєнкової, Д.В. Дубініна, Гао Шаоцин та ін. [19, 21, 23]. Авторами розглянуто роль девелопера в реалізації інвестиційних проєктів різного функціонального призначення та особливості координації учасників будівельного процесу. Водночас сучасні виклики цифровізації вимагають подальшого розвитку підходів до управління взаємодією стейкхолдерів на основі цифрових платформ та інформаційних систем [5] [20].

Водночас більшість цих досліджень слугувала теоретичною базою для розуміння розподілу ресурсно-інформаційних потоків між учасниками будівництва, організаційних форм управління будівельними проєктами та методів оцінювання їх ефективності. Проте вони були виконані до активного поширення сучасних цифрових технологій, що обмежує можливість їх безпосереднього використання для завдань цифрової трансформації будівельних підприємств.

Питання управління інноваційним розвитком будівельних підприємств знайшли відображення у колективній монографії [25], де розглядаються різні аспекти та механізми впровадження інновацій та підвищення ефективності господарської діяльності будівельних підприємств. Подальший розвиток цих положень щодо цифрової економіки представленоу нашому дослідженні [26], де обґрунтована необхідність трансформації управлінських підходів під впливом цифровізації економіки та визначені ключові імперативи розвитку підприємств в умовах поширення цифрових технологій [22].

Окремий напрям наукових досліджень присвячений питанням готовності підприємств до цифрової трансформації та оцінювання

стратегічних перспектив цифрового розвитку. Так, D. Möller розглядає можливості використання моделей цифрової та безпекової зрілості для оцінювання готовності організацій до цифрової трансформації [28]. Подібний підхід застосовано також у дослідженні китайської стратегії розвитку розумного будівництва, де здійснено аналіз стратегічних переваг та ризиків впровадження цифрових технологій у будівельній галузі [29]. У зазначеному контексті, значний інтерес становить дослідження W. Lu, H. Li, L. Shen та T. Huang, присвячене аналізу сильних і слабких сторін будівельних компаній у глобальному конкурентному середовищі [30]. Водночас зазначені праці здебільшого орієнтовані на загальні аспекти розвитку підприємств і недостатньо враховують особливості цифровізації інвестиційно-будівельних проєктів в українських умовах.

Важливе місце у дослідженнях цифрової трансформації будівництва займають роботи, присвячені технології інформаційного моделювання будівель (BIM). Зокрема, L. Joblot, T. Paviot, D. Deneux та S. Lamouri запропонували модель оцінювання рівня зрілості впровадження BIM-технологій у сфері реновації будівель, що дозволило визначати ступінь готовності організацій до цифрового управління будівельними процесами [31]. Подібні питання розкриваються також у статтях [32, 33], де BIM розглядається як ключова технологічна платформа цифрової трансформації будівництва. Водночас зазначені дослідження більше орієнтовані на організаційні й технологічні аспекти цифровізації та недостатньо розкривають їхній вплив на економічні параметри інвестиційно-будівельних проєктів [15].

Проблеми інтеграції BIM із сучасними цифровими технологіями розглядаються у роботі A. Khan, S. Sepasgozar, T. Liu та R. Yu [34]. Автори досліджують можливості поєднання BIM із технологіями віртуальної та доповненої реальності. Отримані результати засвідчують значний потенціал цифрових технологій щодо підвищення рівня координації учасників проєктів та ефективності управління будівельними процесами.

Українські науковці також активно досліджують питання впровадження

BIM-технологій у будівництві. Зокрема, Т.Ю. Цифра розглядає BIM як інструмент удосконалення системи ціноутворення у будівництві та доводить його здатність підвищувати прозорість розрахунків на всіх етапах реалізації будівельних проєктів [35]. Суттєве значення для дослідження мають також роботи Р.Я. Зельцера, О.Ю. Бєлєнкової, Є.В. Новак та Д.В. Дубініна [36, 38, 40], у яких обґрунтовується роль цифрової трансформації будівництва в умовах розвитку сучасних інформаційних технологій [43].

Вагоме значення для формування теоретичного підґрунтя дослідження мають праці, присвячені питанням економічної ефективності й управління ресурсами у будівництві на основі використання методів нечіткого аналізу та низки параметричних методів, коли цільові показники управління та фактори впливу розглядаються не визначеними за чіткими межами і критеріями, а дещо «розмито». Зокрема, Л.В. Сорокіна, А.Ф. Гойко, Є.С. Коваленко та О.Ю. Бєлєнкова досліджують ефективність використання виробничих факторів у будівництві із застосуванням сучасного економіко-математичного інструментарію [42, 44]. К.В. Ізмайлова розглядає вплив енергоефективності будівель на формування вартості будівельної продукції та процеси параметричного ціноутворення [46]. Дані дослідження створюють наукову основу для оцінювання економічних параметрів будівельних проєктів, однак не враховують повною мірою можливості цифрових технологій щодо автоматизації таких розрахунків, при тому, що потенціал застосування нечітких методів у даній сфері є достатньо високим.

Значний інтерес становлять дослідження, присвячені оцінювання доцільності впровадження цифрових технологій та інформаційних систем на різних етапах розвитку підприємств та реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. Зокрема, V.L. Lemieux застосовує SWOT-аналіз для оцінювання перспектив впровадження технології блокчейн [47], тоді як D. Möller доводить ефективність використання зазначеного підходу під час оцінювання цифрової готовності організацій та розроблення стратегій цифрової трансформації [28], що розширює інструментарій дослідження готовності учасників інвестиційно-

будівельних проєктів до впровадження цифрових технологій.

Аналіз представлених у табл. 1.1-1.3 досліджень свідчить про поступове формування комплексного теоретичного, методичного та прикладного наукового підґрунтя цифровізації будівельної галузі, однак водночас підтверджує наявність значної кількості невирішених теоретичних і прикладних завдань, пов'язаних з управлінням економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів.

Таблиця 1.1

Тематична спрямованість теоретичних досліджень в області цифрової трансформації інвестиційно-будівельних проєктів

Напрям	Джерела	Основний зміст	Виявлені прогалини
1	2	3	4
Теоретичні засади цифрової трансформації	Möller D. [28], Adejola F.O., Nwobodo-Anyadiegwu E.N. [48], 38.Nozari H., Movahed A.B., Szmelter-Jarosz A. [49]	Розкрито сутність цифрової трансформації, особливості цифрової економіки, чинники цифрового розвитку підприємств та галузей. Визначено стратегічне значення цифрових технологій для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності окремих підприємств -учасників будівництва.	Недостатньо досліджено вплив цифрової трансформації на економічні параметри інвестиційно-будівельних проєктів і систему управління їх життєвим циклом.
Економіка будівництва та управління ІБП	Рогожин П.С., Гойко А.Ф. [16], Федоренко В.Г., [17], Бєлєнкова О.Ю. [21], Савенко В.І. та ін. [18], Поколенко В. [50], Чуприна Ю. [52], Оксенчук Р. [54], Предун К. [56]	Досліджено економічні засади функціонування будівельних підприємств в рамках будівельних проєктів, теоретично обґрунтовано інструментарій оцінювання та управління інвестування, девелопменту, стейкхолдерів та організаційних структур.	Практично відсутні комплексні моделі цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів.
Інноваційний розвиток та цифрові інструменти управління	Федоренко В.Г. [25], Зельцер Р.Я. [36], Бєлєнкова О.Ю. [38], Adejola F.O., Nwobodo-Anyadie-gwu E.N. [48], Chen X. [32]	Розглянуто теоретичні підходи та напрямки інноваційного розвитку, серед яких сучасні цифрові інструменти управління, цифровізацію бізнес-процесів, розвиток інноваційних цифрових моделей управління, цифрової екосистеми та цифрової інфраструктури	Недостатньо досліджено механізми інтеграції цифрових інновацій у систему економічного управління будівельними проєктами.

Закінчення табл. 1.1

1	2	3	4
Нормативно-інституційне забезпечення цифровізації будівництва	European Commission BIM Rolling Plan [57], Міністерство розвитку громад та територій України [58], Кабінет Міністрів України [59]	Визначено нормативні та інституційні засади впровадження BIM-технологій, цифровізації будівництва та формування державної політики цифрової трансформації галузі.	Потребують подальшого розвитку механізми нормативного забезпечення цифрового управління інвестиційно-будівельними проєктами та стандартизації цифрових даних.
Цифрова взаємодія учасників будівництва й управління інформацією	Joblot L. та ін. [31], Khan A. та ін. [34], Зельцер Р.Я. та ін. [40], Berlato M. та ін. [60], Чуприна Ю. та ін. [52], Іванина О. [61]	Доведено важливість цифрових платформ, BIM-середовища та інтегрованих інформаційних систем для забезпечення взаємодії замовників, проєктувальників, підрядників і постачальників.	Відсутні комплексні моделі цифрової взаємодії учасників будівництва, орієнтовані на управління економічними параметрами проєктів.
Управління життєвим циклом проєктів	PMBOK Guide, ISO 21502 [63], Eastman C. та ін. [64], Зельцер Р.Я. та ін. [40], Adejola F.O., Nwobodo-Anyadiegwu E.N. [48]	Взаємодія учасників інвестиційно-будівельного проєкту та управління його параметрами розглядається через концепцію життєвого циклу проєкту, кий оцінюється за етапами від ініціювання та проєктування до експлуатації й виведення з експлуатації. Визначено роль цифрових технологій, BIM, цифрових платформ та інформаційного менеджменту на різних стадіях життєвого циклу будівельного об'єкта.	Недостатньо розроблено інтегровані моделі цифрового управління економічними параметрами проєкту протягом усього життєвого циклу з урахуванням змін вартості, термінів, ресурсів та ефективності інвестицій.

Джерело: розроблено автором

Сукупність досліджень за визначеними в табл. 1.1 тематичними напрямами формує теоретичне підґрунтя для розроблення сучасної концепції цифрового управління вартістю, ресурсами, строками та ефективністю інвестиційно-будівельних проєктів.

Теоретичні засади цифрової трансформації створюють загальну основу дослідження, оскільки розкривають економічну сутність цифровізації, закономірності переходу до цифрової економіки та роль цифрових технологій у підвищенні ефективності діяльності підприємств. Напрям економіки будівництва та управління інвестиційно-будівельними проєктами формує

базові теоретичні уявлення про економічні механізми проєктної діяльності, процеси інвестування, девелопменту, управління стейкхолдерами та організаційними структурами. Саме в межах цього напряму визначено ключові економічні параметри проєктів, серед яких вартість, тривалість реалізації, ресурсозабезпечення та інвестиційна ефективність.

Дослідження інноваційного розвитку та цифрових інструментів управління будівельними підприємствами забезпечують теоретичне обґрунтування використання інформаційних систем, платформних рішень, автоматизованих засобів планування й контролю, а також цифрових екосистем управління. Результати досліджень у зазначеному напрямку доводять ефективність цифровізації бізнес-процесів, однак не формують цілісного механізму інтеграції цифрових інструментів у систему управління економікою проєкту, що визначає перспективний напрям подальших наукових пошуків.

Важливою складовою формування теоретичної бази дослідження виступає нормативно-інституційне забезпечення цифровізації будівництва. Відповідні дослідження розкривають особливості впровадження BIM-технологій, стандартизації даних, розвитку цифрового середовища будівництва та державної політики цифрової трансформації галузі. Саме нормативно-інституційна база створює умови для впровадження цифрових інструментів управління проєктами та забезпечення сумісності інформаційних систем учасників будівництва.

Суттєве значення для дослідження має напрям цифрової взаємодії учасників будівництва й управління інформацією, оскільки ефективність реалізації інвестиційно-будівельних проєктів значною мірою залежить від якості інформаційного обміну між замовниками, інвесторами, проєктувальниками, підрядниками та експлуатуючими організаціями.

Особливу роль у формуванні предметної області дослідження відіграє *концепція управління життєвим циклом проєктів*. Вона дозволяє розглядати економічні параметри не ізольовано, а в динаміці їх змін на всіх етапах реалізації проєкту від ініціювання та проєктування до будівництва,

експлуатації та завершення життєвого циклу об'єкта. Саме життєвий цикл є методологічною основою інтеграції цифрових технологій, BIM-моделей, інформаційних платформ та аналітичних інструментів у єдину систему управління. Водночас у сучасних дослідженнях відсутні комплексні моделі цифрового управління економічними параметрами проєктів протягом усього життєвого циклу об'єкта. Натомість існує ряд спроб формування комплексних моделей управління об’єктами будівництва протягом життєвого циклу [66, 68], проте даний напрямок є перспективним для подальших досліджень.

Таким чином, проведений аналіз свідчить, що наявні наукові напрацювання створюють достатню теоретичну основу для дослідження цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів. Водночас вони характеризуються фрагментарністю та відсутністю інтегрованого підходу до поєднання цифрових технологій, економічних засобів оцінювання й управління, а також мають базуватись на концепції життєвого циклу проєкту. Це обумовлює необхідність розроблення теоретико-методичних засад формування комплексного цифрового інструментарію, здатного забезпечити ефективне управління вартістю, строками, ресурсами, ризиками та результативністю інвестиційно-будівельних проєктів протягом усього їх життєвого циклу.

У зв'язку з цим доцільним є дослідження прикладних аспектів цифрової трансформації, зокрема використання цифрових платформ, BIM-середовищ, ERP-систем, цифрових двійників, інструментів аналітики даних та автоматизованих систем підтримки прийняття управлінських рішень, що дає змогу визначити сучасні тенденції цифровізації галузі, оцінити практичні результати впровадження цифрових рішень та виявити невирішені проблеми їх інтеграції в систему управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів. Відповідно, у таблиці 1.2 систематизовано основні напрями прикладних досліджень у сфері цифрової трансформації інвестиційно-будівельних проєктів.

Таблиця 1.2

Тематична спрямованість прикладних досліджень в області цифрової трансформації інвестиційно-будівельних проєктів

Тематичний напрям	Джерела	Основний зміст	Виявлені наукові прогалини
Цифрова зрілість та готовність до впровадження BIM-технологій	Joblot L. та ін. [31], China Construction Informatization Development Report [32, 70], Khan A. та ін. [34], European Commission BIM Rolling Plan [57]	Розроблено моделі цифрової зрілості та BIM-зрілості, визначено етапи впровадження BIM, критерії оцінювання цифрової готовності організацій.	Недостатньо обґрунтовані економічні критерії оцінювання готовності учасників будівництва до цифрової трансформації.
Інформаційне моделювання будівель (BIM) та цифрові технології в будівництві	Цифра Т.Ю. [35], Joblot L. та ін. [31], Khan A. та ін. [34], Зельцер Р.Я. та ін. [40], Chen X. [71], Перегінець І., Смірнов Ю. [72], Левченко О.В. та ін. [73], Іванина О. [61], Кабінет Міністрів України [59]	Досліджено BIM-технології як основу цифрової трансформації будівництва, визначено їх вплив на проєктування, координацію учасників, управління ресурсами й відновлення інфраструктури.	Недостатньо розроблено методи інтеграції BIM із системами економічного аналізу, бюджетування та управління ефективністю проєктів.
Цифрові двійники (Digital Twin) у будівництві	Baghdadi A. [74], Adeniyi O. та ін. [75], Valinejadshoubi M. та ін. [76], Amarkhil Q. та ін. [77]	Розкрито концепцію цифрових двійників, підходи до інтеграції BIM, GIS, IoT та штучного інтелекту в системи управління будівництвом. Доведено їх потенціал для прогнозування, моніторингу та оптимізації процесів.	Недостатньо досліджено економічні ефекти використання цифрових двійників і можливості їх застосування в управлінні інвестиційно-будівельними проєктами.
Цифрові платформи та інтегровані інформаційні середовища будівництва	Berlato M. та ін. [78], Joblot L. та ін. [31], Khan A. та ін. [34], Valinejadshoubi M. та ін. [76]	Розглянуто цифрові платформи як середовище інтеграції даних, координації учасників будівництва та підтримки прийняття управлінських рішень.	Недостатньо досліджено питання інтеграції цифрових платформ з економічними системами управління проєктами.

Джерело: розроблено автором

Аналіз джерел, згрупованих у табл. 1.2, свідчить, що сучасні прикладні дослідження цифрової трансформації будівельної галузі зосереджені переважно на питаннях впровадження BIM-технологій, розвитку цифрових платформ, використання цифрових двійників та оцінювання рівня цифрової готовності організацій. Зазначені напрями формують практичне підґрунтя для створення цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, проте в аналізованих роботах вони

розглядаються переважно з технологічної та організаційної, а не економіко-управлінської точки зору.

Перший напрям прикладних досліджень пов'язаний з оцінюванням цифрової зрілості та готовності до впровадження BIM-технологій. У межах цього напряму розроблено численні моделі цифрової та BIM-зрілості, запропоновано методики оцінювання рівня цифровізації підприємств і визначено фактори успішного переходу до цифрових моделей управління. Практичне значення цих досліджень полягає у формуванні критеріїв готовності учасників будівництва до використання сучасних інформаційних технологій [53].

Важливе місце серед наведених досліджень займають роботи, присвячені інформаційному моделюванню будівель (BIM) та цифровим технологіям у будівництві. У цих дослідженнях BIM розглядається як ключовий інструмент цифрової трансформації галузі, що забезпечує інтеграцію інформації про об'єкт будівництва на всіх етапах його створення та експлуатації. Практичні результати підтверджують позитивний вплив BIM-технологій на якість проєктування, координацію учасників, контроль ресурсів та зниження кількості помилок під час реалізації проєктів. Разом із тим переважна більшість досліджень зосереджена на технічних можливостях BIM-систем або на стадіях проєктування і зведення об’єкту, тоді як питання інтеграції інформаційних моделей із системами економічного аналізу, бюджетування, прогнозування витрат і контролю економічної ефективності залишаються недостатньо розробленими.

Окремий блок прикладних досліджень присвячений використанню технології цифрових двійників (Digital Twin) у будівництві. У науковій літературі цифрові двійники розглядаються як інструмент створення динамічної цифрової копії об'єкта будівництва, інтегрованої з BIM, IoT, GIS-технологіями та засобами штучного інтелекту. Практичне застосування таких рішень дозволяє здійснювати моніторинг технічного стану об'єктів, прогнозувати ризики, аналізувати сценарії розвитку проєкту та оптимізувати

процеси управління. Важливим напрямом прикладних досліджень є цифрові платформи та інтегровані інформаційні середовища будівництва. Отримані результати демонструють значний потенціал цифрових платформ для забезпечення єдиного інформаційного простору проєкту, координації взаємодії між замовниками, девелоперами, проєктувальниками, підрядниками та іншими стейкхолдерами. Такі рішення дозволяють інтегрувати різнорідні дані, підвищувати оперативність управління та підтримувати процес прийняття рішень на основі актуальної інформації. Проте існуючі розробки переважно спрямовані на оптимізацію інформаційних потоків і ще недостатньо адаптовані до завдань управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів [37].

Отже, результати прикладних досліджень свідчать про суттєвий прогрес у розвитку цифрових технологій та інструментів управління будівельною діяльністю. Водночас наявні напрацювання характеризуються переважанням технологічного підходу над економічним. Незважаючи на значний розвиток BIM-технологій, цифрових платформ, моделей цифрової зрілості та цифрових двійників, у науковій літературі практично відсутні комплексні підходи до їх використання як єдиної системи управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів. Це обумовлює необхідність подальших досліджень, спрямованих на формування інтегрованого цифрового інструментарію управління вартістю, ресурсами, строками реалізації та інвестиційною ефективністю будівельних проєктів протягом усього їх життєвого циклу.

Результати аналізу прикладних досліджень дали змогу визначити основні напрями практичного впровадження цифрових технологій у сфері інвестиційно-будівельних проєктів та окреслити проблеми їх адаптації до потреб управління проєктною діяльністю. Однак для обґрунтування механізмів і інструментів цифрової трансформації важливим є також вивчення методичного підґрунтя та розробок, спрямованих на формування моделей, методів, алгоритмів та підходів в області цифрової трансформації

інвестиційно-будівельних проєктів. У зв'язку з цим у таблиці 1.3 систематизовано тематичні напрями методичних досліджень у галузі цифрової трансформації інвестиційно-будівельних проєктів.

Таблиця 1.3

Тематична спрямованість методичних досліджень в області цифрової трансформації інвестиційно-будівельних проєктів

Тематичний напрям	Джерела	Основний зміст	Виявлені прогалини
1	2	3	4
Економічна ефективність проєктних рішень та інвестиційних проєктів	Ізмайлова К.В. [46], Сорокіна Л.В. та ін. [42], Титок В.В. [23], Оксенчук Р. [54], Предун К. та ін. [56]	Обґрунтовано методи оцінювання ефектив-ності інвестицій, вартості проєктів, виробничих факторів і капіталовкладень у будівництві.	Недостатньо враховується вплив цифрових технологій на економічну ефективність проєктів упродовж їх життєвого циклу.
Управління ризиками та інформаційною безпекою цифрових систем	Möller D. [28], Lemieux V.L. [47], Adejola F.O., Nwobodo-Anyadiegwu E.N. [48]	Досліджено ризики цифрової трансформації, питання кібербезпеки, захисту даних, використання цифрових платформ та інформаційних систем у будівництві.	Недостатньо розроблено методики оцінювання цифрових ризиків інвестиційно-будівельних проєктів та їх економічних наслідків.
SWOT-аналіз цифровізації та стратегічне оцінювання цифрового розвитку	Möller D. [28], Peng L. та ін. [29], Lu W. та ін. [30], Lemieux V.L. [47], Khan A. та ін. [34], Adejola F.O., Nwobodo-Anyaegwu E.N. [48]	Запропоновано інстру-менти стратегічного оцінювання цифрового розвитку підприємств, аналізу переваг, ризиків і можливостей цифровізації.	Відсутні адаптовані методики аналізу цифрового розвитку учасників будівництва в Україні.
Організаційно-технологічне моделювання будівництва	Hryhorovskyi P.Ye. та ін. [1], Зельцер Р.Я. та ін. [40], Amarkhil Q. та ін. [77], Valinejadshoubi M. та ін. [76], Перегінець І., Смірнов Ю. [72]	Розроблено організаційно-технологічні моделі планування будівництва, управління виробничими процесами та цифрового супроводу реалізації проєктів.	Недостатньо розкрито можливості використання цифрових моделей для управління вартістю, ризиками та ефективністю проєктів.
Багатокрите-ріальне оцінювання, нечітких множин та підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності	Alkan N, Kahraman C. [79], Сорокіна Л.В. та ін. [42], Ізмайлова К.В. [46], Предун К. та ін. [56]	Розроблено методичні підходи до оцінювання та вибору проєктних рішень за умов неповноти інформації, багатокритеріальності та високого рівня ризику (методи нечітких множин (Fuzzy Logic), нечіткої багатокритеріальної оптимізації, Fuzzy-AHP, Fuzzy-TOPSIS, експертного оцінювання та підтримки управлінських рішень.	Недостатнє застосування для цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, ефективності цифрової трансформації та ризиків на різних етапах життєвого циклу проєкту.

Закінчення табл. 1.3

1	2	3	4
Багатокрите-ріальна оптимізації та рейтингового оцінювання цифрових рішень	Saaty T. [80], Предун К. та ін. [56], Оксенчук Р. [54]	Розглянуто методи ранжування альтернатив, визначення пріоритетів інвестування, оцінювання ефективності управлінських рішень та вибору цифрових технологій за системою критеріїв.	Відсутні адаптовані методики вибору інструментів цифрової трансформації для інвестиційно-будівельних проєктів з урахуванням їх економічної доцільності та цифрової зрілості учасників проєкту.
Економіко-математичне та імітаційне моделювання цифрової трансформації проєктів	Chen X. [71], Amarkhil Q. та ін. [77], Valinejadshoubi M. та ін. [76]	Запропоновано моделі прогнозування, сценарного аналізу, цифрових двійників та імітаційного моделювання процесів реалізації будівельних проєктів.	Недостатньо розроблені моделі оцінювання впливу цифрової трансформації параметри інвестиційно-будівельних проєктів протягом життєвого циклу.

Джерело: розроблено автором

За результатами аналізу досліджень, наведених у табл. 1.3, встановлено, що на сьогодні сформовано вагомий методичний базис для оцінювання ефективності інвестиційно-будівельних проєктів, управління ризиками, стратегічного аналізу цифрової трансформації, організаційно-технологічного моделювання будівництва та підтримки прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності. Значну увагу приділено розробленню методів економічного оцінювання проєктних рішень, застосуванню цифрових моделей управління будівництвом, використанню інструментів SWOT-аналізу, багатокритеріальної оптимізації, економіко-математичного моделювання та технологій інформаційного моделювання будівель.

Водночас проведене узагальнення свідчить, що існуючі методичні підходи переважно спрямовані на вирішення окремих аспектів цифрової трансформації будівельної галузі та недостатньо враховують комплексний вплив цифрових технологій на економічні параметри інвестиційно-будівельних проєктів протягом їх життєвого циклу. Зокрема, потребують подальшого розвитку методики оцінювання рівня цифрової зрілості проєктів та їх учасників, інструменти економічного обґрунтування цифрових рішень,

підходи до кількісного оцінювання цифрових ризиків, а також моделі інтеграції BIM-технологій, цифрових двійників та аналітики даних у систему управління вартістю, строками та ефективністю проєктів.

Окремою науковою задачею залишається недостатня адаптація методів багатокритеріального оцінювання, нечітких множин (Fuzzy Logic), Fuzzy-AHP і Fuzzy-TOPSIS до завдань цифрового управління інвестиційно-будівельними проєктами. Існує потреба у формуванні комплексного методичного інструментарію, який дозволив би враховувати невизначеність, багатофакторність та різнорідність інформації при оцінюванні результативності цифрової трансформації, обґрунтуванні інвестиційних рішень та управлінні економічними параметрами будівельних проєктів у цифровому середовищі. Саме зазначені науково-методичні завдання визначають актуальність подальших досліджень і слугують підґрунтям для розроблення удосконаленого методичного підходу до цифрової трансформації управління інвестиційно-будівельними проєктами.

Аналіз наукових джерел дозволяє зробити висновок, що на сьогодні достатньо ґрунтовно досліджено ряд важливих питань у сферах економіки будівництва, BIM-технологій, цифрової трансформації підприємств, конкурентоспроможності та інноваційного розвитку, які стосуються цифровізації будівництва. Водночас встановлено наявність наукової прогалини, яка полягає у відсутності комплексного підходу до формування цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, що інтегрував би оцінювання готовності учасників будівництва до цифровізації, BIM-технології, аналіз факторів впливу на ефективність проєктних рішень, управління цифровими ризиками, інформаційну взаємодію стейкхолдерів та механізми підтримки прийняття управлінських рішень протягом усього життєвого циклу проєкту. Саме усунення зазначеної прогалини формує наукове підґрунтя та актуальність дослідження, необхідність вирішення зазначених наукових і прикладних завдань та зумовило вибір теми дисертації та визначила його мету і зміст.

1.2. Економічна сутність та особливості управління інвестиційно-будівельними проєктами в умовах цифровізації

Актуальність аналізу факторів впливу на економічну ефективність проєктних рішень в умовах цифровізації інвестиційно-будівельних проєктів зумовлена поглибленням процесів цифрової трансформації будівельної галузі, підвищенням складності реалізації будівельних проєктів та необхідністю забезпечення їх економічної результативності в умовах високої невизначеності зовнішнього середовища. Сучасні інвестиційно-будівельні проєкти характеризуються тривалими термінами реалізації, великою кількістю учасників та складністю взаємозв'язків між проєктними, технологічними, фінансовими й управлінськими процесами. За таких умов ефективність управління економічними параметрами проєкту значною мірою залежить від своєчасного виявлення, оцінювання та врахування факторів, які впливають на якість прийняття проєктних рішень.

Проблема оцінювання ефективності проєктних рішень у будівництві є багатокомпонентним напрямом досліджень, який охоплює питання економічного обґрунтування проєктів, ціноутворення, інвестиційного аналізу, економіко-математичного моделювання, управління будівельними процесами та цифровізації проєктної діяльності. Аналіз ряду наукових праць у зазначеному напрямку дозволяє виокремити основні підходи до формування системи оцінювання ефективності проєктних рішень, визначити сучасні тенденції розвитку методичного інструментарію та встановити перспективні напрями його вдосконалення.

Теоретико-методичні основи оцінювання економічної ефективності проєктних рішень у будівництві сформовані у працях вітчизняних науковців А.Ф. Гойка, В.Г. Федоренка, О.М. Лівінського, С.П. Стеценка, В.І. Савенка та інших дослідників [17, 18, 81, 82]. У цих роботах розкриваються економічні засади формування будівельної продукції, принципи управління інвестиційними процесами, механізми забезпечення конкурентоспроможності будівельних підприємств та особливості функціонування суб'єктів

інвестиційно-будівельної діяльності. Дослідники обґрунтовують визначальну роль економічного аналізу у прийнятті проєктних рішень та підкреслюють необхідність урахування впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на результати реалізації будівельних проєктів [87].

Значний внесок у розвиток методології оцінювання проєктних рішень зроблено науковцями, які досліджують питання ціноутворення у будівництві. У роботах А.Ф. Гойка, О.С. Гриценка, Л.В. Шумак та інших авторів розглядаються механізми формування кошторисної вартості проєктних робіт, особливості організації проєктної діяльності та методи економічного моделювання процесів проєктування [84, 86, 88]. Особливу увагу приділено аналізу міжнародного досвіду визначення вартості проєктних робіт, що дозволяє виявити сучасні тенденції розвитку систем ціноутворення та можливості адаптації зарубіжних практик до умов будівельної галузі України.

Вагомий внесок у розвиток теоретико-методичних положень економічної оцінки проєктних рішень зробили К.В. Ізмайлова та О.В. Ізмайлова [90–94], чиї дослідження присвячені питанням економічної експертизи інвестиційних проєктів, оцінювання ефективності інвестицій на різних етапах життєвого циклу будівельного проєкту та вдосконаленню методів прийняття інвестиційних рішень. У працях авторів обґрунтовано підходи до економічного аналізу проєктних альтернатив, оцінювання ризиків та визначення доцільності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. Особливу увагу приділено застосуванню сучасних економічних моделей для підвищення достовірності прогнозування результатів проєктної діяльності, економічної експертизи інвестиційних проєктів, визначення ефективності інвестицій на передінвестиційній стадії, а також оцінювання впливу окремих проєктних рішень на економічні результати будівництва. Важливим для розвитку методології оцінювання ефективності є також дослідження впливу інтелектуального капіталу та нематеріальних активів на фінансові результати підприємств, що розширює традиційні підходи до визначення економічної цінності проєктних рішень.

Суттєве значення для розвитку досліджень у сфері економіки проєктування мають праці Т.В. Машошиної [96–99], у яких розглянуто теоретичні та прикладні аспекти ціноутворення на проєктні роботи, вплив економічних факторів на формування їх вартості та особливості фінансового забезпечення проєктної діяльності. Авторкою обґрунтовано методологічні підходи до визначення договірної ціни проєктних робіт, досліджено вплив макроекономічних умов на кошторисне нормування та запропоновано підходи до адаптації системи ціноутворення в будівництві до сучасних ринкових вимог. Практичну цінність становлять дослідження, присвячені моніторингу системи ціноутворення та її впливу на фінансові результати діяльності проєктних організацій.

Проблематика формування вартості будівельної продукції та цифровізації проєктної діяльності отримала подальший розвиток у дослідженнях Л.В. Сорокіної [86, 100]. У її роботах розглянуто просторові аспекти ціноутворення у житловому будівництві, визначено вплив регіональних особливостей на вартісні показники проєктів, а також досліджено процеси цифрової трансформації проєктно-будівельної сфери. Результати цих досліджень підтверджують, що впровадження цифрових технологій істотно впливає на підвищення ефективності підготовки та реалізації проєктних рішень.

Теоретичні засади управління проєктами як основи забезпечення ефективності проєктних рішень висвітлено у працях Полі М., Шенгар А. Дж. [101], які розглядають процес управління проєктом як систему взаємопов’язаних управлінських функцій планування, контролю, координації та аналізу результатів. Автори обґрунтовують необхідність системного підходу до управління витратами, ресурсами та термінами реалізації проєкту як ключових чинників його успішності.

Важливе місце у дослідженнях займають питання реформування системи ціноутворення у будівництві. Зокрема, А.В. Беркута [102], І.В. Вахович та співавтори [103], П.П. Закорко та Д.М. Вершигора [104]

аналізують вітчизняні підходи до визначення вартості будівельної продукції, досліджують чинники формування договірних цін та обґрунтовують напрями удосконалення нормативно-методичної бази будівельного ціноутворення. Отримані результати мають важливе значення для формування достовірної системи економічної оцінки проєктних рішень.

Значний внесок у розвиток економіки проєктування здійснили А.Ф. Гойко, О.С. Гриценко, К.І. Шевчук та інші науковці [105–107]. У роботах авторів комплексно розглянуто економічні аспекти виконання проєктних робіт, методи економіко-математичного моделювання, особливості визначення вартості проєктної продукції та механізми оцінювання ефективності проєктних рішень. Особливої уваги заслуговують дослідження щодо використання моделей оптимізації проєктних процесів та аналіз зарубіжного досвіду ціноутворення у сфері проєктування.

Міжнародні підходи до формування вартості проєктних робіт висвітлено в дослідженнях О.С. Гриценка, Л.В. Шумак [107] та Ю.О. Запєчної [108], у яких проаналізовано особливості ціноутворення в різних країнах світу. Порівняльний аналіз міжнародного досвіду дозволяє виявити перспективні підходи до оцінювання економічної ефективності проєктних рішень і можливості їх адаптації до умов вітчизняної будівельної галузі.

Окремі аспекти оцінювання ефективності інноваційно-інвестиційних проєктів досліджено у працях В.В. Титок [109], яка обґрунтовує необхідність проведення комплексного попереднього аналізу проєкту на ранніх стадіях його реалізації. Важливість забезпечення конкурентоспроможності будівельних підприємств та впровадження систем управління якістю як чинників підвищення економічної ефективності будівельних проєктів відображено у працях В.І. Савенка та співавторів [110, 111] [95].

Водночас значний внесок у розвиток теоретичних засад економіки будівництва зробили О.М. Лівінський [81], С.П. Стеценко та інші дослідники [1, 82], які розкрили закономірності функціонування будівельних підприємств у ринковому середовищі та визначили ключові економічні чинники, що

впливають на результати реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

Таким чином, проведений аналіз наукових праць дозволяє стверджувати, що сучасні підходи до оцінювання ефективності проєктних рішень базуються на поєднанні економічних, організаційних, математичних та нормативних методів дослідження. Водночас більшість існуючих методик орієнтована на традиційні підходи до економічного аналізу та ціноутворення. За умов цифрової трансформації будівельної галузі особливої актуальності набуває необхідність інтеграції BIM-технологій, цифрових платформ, аналітики даних і сучасних інформаційних систем у процес оцінювання та управління ефективністю проєктних рішень. Це зумовлює потребу у розробленні нових теоретико-методичних підходів до формування цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів протягом усього їх життєвого циклу.

У сучасній цифровій економіці підходи до управління інвестиційно-будівельними проєктами поступово трансформуються під впливом інформаційних технологій, технологій інформаційного моделювання будівель (BIM), цифрових платформ управління проєктами, систем аналізу великих даних та інструментів підтримки прийняття рішень. Внаслідок цього економічні показники проєктів дедалі більше залежать не лише від організаційно-технологічного і технічного забезпечення та проєктних характеристик об'єктів будівництва, а й від рівня цифрового забезпечення процесів планування, моніторингу, координації та контролю їх реалізації (рис. 1.3). Водночас недостатній рівень інтеграції цифрових технологій у систему управління проєктами може призводити до збільшення витрат, порушення графіків виконання робіт, зниження якості будівельної продукції та виникнення додаткових ризиків.

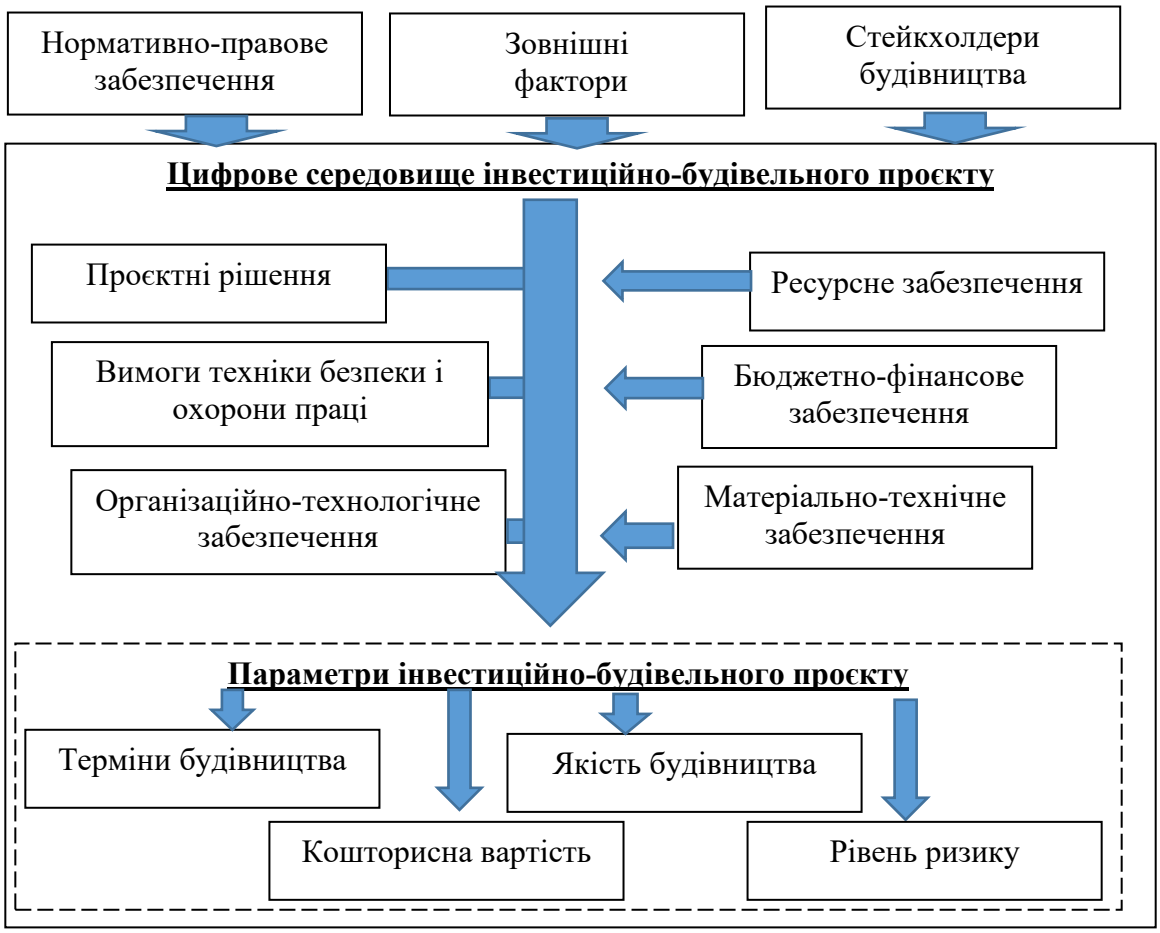


Рис. 1.3. Роль цифровізації у забезпеченні проєктних параметрів будівництва

Джерело: розроблено автором

Особливої актуальності зазначена проблема набуває в умовах необхідності раціонального управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, до яких належать вартість, тривалість реалізації, ресурсне забезпечення, якість виконання робіт, продуктивність використання ресурсів та рівень ризиків. Кожне проєктне рішення впливає на зазначені параметри, а його економічні наслідки можуть поширюватися на всі етапи життєвого циклу об'єкта будівництва. Саме тому виникає необхідність формування сучасного цифрового інструментарію, який забезпечуватиме комплексний аналіз факторів впливу на економічну ефективність проєктних рішень та сприятиме підвищенню обґрунтованості управлінських дій. При цьому цифрове середовище проєкту виступає своєрідним провідником, від

якого залежить швидкість і якість прийняття проєктних рішень у відповідь на зміну зовнішніх і внутрішніх чинників, вимог замовника, нормативно-правових змін тощо.

На ефективність проєктних рішень у будівництві впливає широкий спектр внутрішніх і зовнішніх чинників (табл. 1.4). До внутрішніх факторів належать рівень цифрової готовності учасників проєкту, якість проєктної документації, рівень використання BIM-технологій, кваліфікація персоналу, ефективність організаційної структури управління та забезпеченість інформаційними ресурсами. Зовнішній вплив формують економічна нестабільність, зміни у нормативно-правовому середовищі, коливання цін на будівельні ресурси, інвестиційна активність, вимоги замовників і тенденції розвитку цифрових технологій. Врахування сукупної дії цих факторів є необхідною умовою забезпечення економічної стійкості та результативності інвестиційно-будівельних проєктів.

Аналіз факторів, представлених у табл. 1.4, свідчить, що ефективність інвестиційно-будівельного проєкту формується під впливом взаємопов'язаного комплексу зовнішніх і внутрішніх чинників, які визначають умови реалізації проєкту, рівень використання ресурсів, якість управлінських рішень та кінцеві економічні результати. Залежно від характеру впливу ці фактори доцільно класифікувати на зовнішні, внутрішні, технічні, економічні, соціальні, екологічні та організаційні.

До зовнішніх факторів належать економічні умови функціонування будівельної галузі, нормативно-правове середовище, соціально-політична ситуація та природно-кліматичні умови. Вони формують загальні рамки реалізації інвестиційно-будівельного проєкту та значною мірою визначають рівень ризиків, вартість ресурсів, строки виконання робіт і вимоги до прийнятих проєктних рішень. Водночас можливості безпосереднього впливу учасників проєкту на ці чинники є обмеженими, що зумовлює необхідність постійного моніторингу зовнішнього середовища та адаптації управлінських рішень до його змін.

Таблиця 1.4

Фактори впливу на ефективність інвестиційно-будівельного проєкту та роль цифровізації

Група факторів	Фактор впливу	Вплив на ефективність проєкту	Зв'язок з цифровізацією
1	2	3	4
Зовнішні	Економічна ситуація (інфляція, валютний курс, ціни на ресурси)	Визначає рівень витрат, вартість ресурсів та фінансові результати проєкту	Опосередкований
	Законодавчі та нормативні вимоги	Впливають на необхідність коригування проєктних рішень та процедури реалізації проєкту	Частково пов'язаний (цифрові стандарти, BIM-вимоги)
	Соціально-політична ситуація	Формує ризики реалізації проєкту та інвестиційний клімат	Опосередкований
	Природні умови та кліматичні ризики	Визначають вибір технологій, матеріалів і графіка робіт	Частково пов'язаний (цифрове моделювання ризиків)
Внутрішні	Кваліфікація персоналу	Впливає на якість управлінських і технічних рішень	**Безпосередньо пов'язаний** (цифрові компетентності персоналу)
	Організація управління	Визначає швидкість прийняття рішень і координацію процесів	**Безпосередньо пов'язаний** (ERP, CRM, цифрові платформи)
	Доступність ресурсів	Забезпечує безперебійне виконання робіт	**Безпосередньо пов'язаний** (цифрові системи управління ресурсами)
Технічні	Інноваційні технології та методи проєктування	Підвищують якість рішень, скорочують витрати та строки будівництва	**Безпосередньо пов'язаний** (BIM, Digital Twin, AI, IoT)
	Складність проєкту	Визначає рівень необхідних ресурсів і управлінських зусиль	Частково пов'язаний (цифрове моделювання складних систем)
	Якість технічного завдання	Забезпечує точність проєктних рішень та знижує ризик помилок	**Безпосередньо пов'язаний** (цифрове управління даними)
Соціальні	Врахування інтересів стейкхолдерів	Впливає на суспільну підтримку та успішність реалізації проєкту	Частково пов'язаний (цифрові комунікаційні платформи)
	Соціальна відповідальність та етичні норми	Знижують репутаційні ризики та сприяють сталому розвитку	Опосередкований

Закінчення табл. 1.4

1	2	3	4
Економічні	Бюджет проєкту	Визначає можливості реалізації проєкту та його масштаби	**Безпосередньо пов'язаний** (цифрове бюджетування і контроль витрат)
	Термін окупності інвестицій	Характеризує інвестиційну привабливість проєкту	**Безпосередньо пов'язаний** (аналітичні цифрові системи)
	Аналіз витрат і вигод	Забезпечує обґрунтованість інвестиційних рішень	**Безпосередньо пов'язаний** (Big Data, прогнозна аналітика)
Екологічні	Вплив на довкілля	Визначає відповідність проєкту принципам сталого розвитку	**Безпосередньо пов'язаний** (цифровий моніторинг ESG-показників)
	Ресурсо- та енергоефективність	Сприяє зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню ефективності	**Безпосередньо пов'язаний** (BIM, Digital Twin, енергетичне моделювання)
Організаційні	Якість планування	Впливає на строки, витрати та якість реалізації проєкту	**Безпосередньо пов'язаний** (4D/5D BIM, цифрове планування)
	Управління ризиками	Забезпечує стійкість проєкту до невизначеності	**Безпосередньо пов'язаний** (цифрова аналітика, AI, ризик-моделі)
	Комунікація між учасниками проєкту	Забезпечує узгодженість дій усіх стейкхолдерів	**Безпосередньо пов'язаний** (CDE, BIM-платформи, хмарні сервіси)

***** *Жирним шрифтом виділено фактори, на які цифровізація здійснює безпосередній вплив або які можуть бути суттєво покращені за рахунок впровадження цифрових технологій (BIM, ERP, Digital Twin, IoT, штучний інтелект, хмарні платформи, системи підтримки прийняття рішень).*

Джерело: складено автором

Особливу роль у забезпеченні ефективності проєкту відіграють внутрішні фактори, серед яких ключове значення мають кваліфікація персоналу, якість організаційної структури управління та рівень ресурсного забезпечення. Саме ці чинники визначають здатність проєктної команди своєчасно реагувати на зміни, забезпечувати координацію діяльності учасників будівництва та досягати встановлених показників результативності. У сучасних умовах їх значення суттєво зростає внаслідок необхідності формування цифрових компетентностей персоналу та використання цифрових систем управління проєктною діяльністю.

Важливе місце серед факторів впливу займають технічні чинники, пов'язані з вибором технологій проєктування та будівництва, складністю об'єкта і якістю технічної документації. Використання сучасних цифрових

технологій, зокрема BIM-моделювання, цифрових двійників, штучного інтелекту та систем обробки даних, створює передумови для підвищення точності проєктних рішень, скорочення кількості помилок, оптимізації використання ресурсів і покращення прогнозованості результатів проєкту.

Економічні фактори безпосередньо визначають ефективність інвестиційно-будівельного проєкту через показники вартості, рентабельності, окупності та економічної доцільності інвестицій. Вирішальне значення мають достатність фінансування, достовірність розрахунків витрат і результатів, а також якість економічного обґрунтування проєктних рішень. У цьому контексті цифрові технології відкривають нові можливості для прогнозування економічних показників, автоматизації процесів бюджетування та моніторингу фінансових результатів протягом усього життєвого циклу проєкту.

Соціальні та екологічні фактори характеризують відповідність проєкту принципам сталого розвитку. Вони охоплюють питання врахування інтересів стейкхолдерів, соціальної відповідальності, впливу на навколишнє середовище, ресурсо- та енергоефективності об'єкта. У сучасних умовах їх значущість зростає завдяки можливості використання цифрових засобів моніторингу екологічних показників, управління ресурсами та оцінювання сталості будівельних рішень.

Окрему групу становлять організаційні фактори, які визначають ефективність процесів планування, координації діяльності учасників проєкту, управління ризиками та комунікаційними процесами. Саме в цій сфері цифровізація має найбільш відчутний вплив, оскільки використання BIM-середовищ, цифрових платформ, хмарних сервісів, ERP-систем та інструментів аналітики даних дозволяє забезпечити інтегроване управління інформацією, підвищити оперативність прийняття рішень і знизити рівень невизначеності.

Таким чином, проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що ключовими факторами, на які цифровізація здійснює безпосередній вплив, є

якість управління, ресурсне забезпечення, застосування інноваційних технологій, економічне планування, управління ризиками та взаємодія учасників проєкту. Саме ці чинники формують основу цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів і визначають можливості підвищення їх ефективності шляхом скорочення термінів реалізації, оптимізації витрат, підвищення продуктивності використання ресурсів та забезпечення довгострокової інвестиційної результативності. Економічна ефективність проєкту при цьому розглядається як комплексна характеристика, що відображає рівень раціонального використання всіх видів ресурсів у процесі створення та експлуатації об'єкта будівництва, а також результативність прийнятих управлінських і проєктних рішень протягом усього життєвого циклу проєкту.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що найбільший потенціал цифрової трансформації зосереджений у сфері управління ресурсами, витратами, ризиками, комунікаціями та процесами планування інвестиційно-будівельних проєктів. Саме ці фактори безпосередньо впливають на ключові економічні параметри проєкту: вартість, строки реалізації, продуктивність використання ресурсів, інвестиційну ефективність та економічну безпеку. Тому вони мають становити основу формування цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів протягом усього їх життєвого циклу.

1.3. Цифрові технології управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів

Оцінювання економічної ефективності використання технологій інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) є одним із пріоритетних напрямів сучасних наукових досліджень у сфері економіки будівництва та управління інвестиційно-будівельними проєктами, а тому вивчається багатьма українськими і зарубіжними вченими [112–121].

Важливість зазначеної проблематики зумовлена поступовим зростанням

складності будівельного виробництва, підвищенням вимог до ефективності використання ресурсів, безпеки та необхідністю забезпечення швидкого інформаційного обміну в умовах цифрової трансформації економіки.

Сучасні підходи до проєктування, планування та контролю виконання будівельних робіт нерідко характеризуються фрагментарністю інформаційних потоків, недостатньою координацією між учасниками інвестиційно-будівельного процесу та обмеженими можливостями оперативного прийняття управлінських рішень. Наслідком цього є виникнення помилок у проєктній документації, дублювання робіт, перевищення кошторисної вартості, порушення календарних графіків реалізації проєктів і зниження загальної економічної ефективності будівництва. За цих умов технології BIM розглядаються як інноваційний інструмент інтегрованого управління інформацією, що забезпечує створення єдиного цифрового інформаційного середовища для всіх учасників проєкту [123–126].

Використання BIM-технологій дає змогу об’єднати геометричні, технічні, технологічні, фінансово-економічні та експлуатаційні параметри об’єкта в єдиній цифровій моделі, що сприяє підвищенню прозорості процесів управління, покращенню комунікації між стейкхолдерами та оптимізації використання матеріально-технічних, трудових і фінансових ресурсів.

Завдяки можливості раннього виявлення колізій, моделювання альтернативних сценаріїв реалізації проєктів, прогнозування витрат та контролю виконання робіт BIM створює передумови для зниження рівня інвестиційних ризиків і підвищення якості управлінських рішень [127–129]. Крім того, цифрове інформаційне моделювання забезпечує формування інформаційної бази для подальшої експлуатації, технічного обслуговування та модернізації об’єкта, що дозволяє розглядати економічний ефект від його використання у довгостроковій перспективі.

Водночас впровадження BIM-технологій супроводжується низкою організаційних, методичних, технічних та економічних викликів. Серед них особливе місце займають значні початкові витрати на придбання програмного

забезпечення, підготовку та перепідготовку персоналу, адаптацію бізнес-процесів, забезпечення інформаційної сумісності між учасниками проєкту, а також необхідність розроблення нормативно-методичної бази цифрового управління будівництвом [131–134]. Унаслідок цього виникає потреба у формуванні науково обґрунтованих підходів до визначення економічної доцільності використання BIM та оцінювання результатів його впровадження з урахуванням специфіки окремих стадій життєвого циклу.

З наукової точки зору актуальним залишається питання вдосконалення методичного інструментарію оцінювання економічної ефективності BIM-технологій. Йдеться про необхідність розроблення системи показників, яка б дозволяла комплексно враховувати як прямі економічні результати, що проявляються у скороченні витрат, зменшенні термінів реалізації проєкту та підвищенні продуктивності праці, так і непрямі ефекти, пов’язані зі зниженням ризиків, підвищенням якості проєктних рішень, покращенням інформаційної взаємодії та забезпеченням стійкості інвестиційно-будівельних процесів. У цьому контексті особливої ваги набуває інтеграція методів фінансово-економічного аналізу, інвестиційного менеджменту, ризик-менеджменту та системного підходу до управління інноваціями.

З огляду на зазначене, проблема визначення економічної доцільності та ефективності впровадження BIM-технологій є важливим науковим завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню результативності управління інвестиційно-будівельними проєктами та формуванню сучасної моделі цифрового розвитку будівництва.

Наукові дослідження, присвячені питанням оцінювання економічної ефективності використання технологій інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) на різних етапах життєвого циклу інвестиційно-будівельних проєктів, можна систематизувати за чотирма основними науковими напрямами (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Головні напрямки досліджень щодо використання технологій інформаційного моделювання будівель в будівництві

Джерело: розроблено автором

Перший напрям охоплює дослідження впливу цифрової трансформації та технологій інформаційного моделювання на управління будівельними процесами, ресурсним забезпеченням і вартісними параметрами проєктів.

У сучасних умовах цифровізація будівництва нерозривно пов'язана з процесами інтеграції кожного з учасників до умов реалізації інвестиційно-будівельного проєкту [135]. Традиційно кожний суб'єкт будівельної діяльності використовує власні інформаційні ресурси та приймає рішення в межах окремих функціональних завдань. Цифрові технології змінюють цей підхід, створюючи можливість одночасного доступу до актуальної інформації для девелоперів, проєктувальників, генеральних підрядників, субпідрядників, постачальників та експлуатуючих організацій. У результаті підвищується узгодженість дій учасників будівництва, скорочується кількість конфліктів між сторонами та покращується якість управління проєктами.

У працях вітчизняних учених доведено, що впровадження цифрових технологій сприяє оптимізації виробничих процесів, зменшенню витрат та підвищенню продуктивності будівництва [115]. Водночас окремі дослідження акцентують увагу на організаційно-економічних проблемах управління вартістю життєвого циклу будівельних об'єктів та обґрунтовують напрями їх ефективного вирішення в умовах цифровізації галузі [66]. Також встановлено, що застосування BIM-технологій на стадії проєктування сприяє зниженню кількості технічних помилок, підвищенню якості проєктних рішень та забезпеченню додаткового економічного ефекту за рахунок скорочення непродуктивних витрат [116]. У цілому результати досліджень цього напряму свідчать про наявність значного потенціалу BIM у підвищенні ефективності управління будівельними проєктами, проте потребують подальшого розвитку методичні підходи до кількісного оцінювання економічних наслідків цифрової трансформації та їхнього впливу на стратегічне управління інвестиційно-будівельною діяльністю.

*Другий напрям досліджен*ь пов'язаний із фінансово-економічними, обліково-аналітичними та ризик-орієнтованими аспектами використання BIM-технологій. Результати наукових праць свідчать, що інформаційне моделювання будівель створює передумови для підвищення прозорості фінансових потоків, удосконалення системи внутрішнього контролю та покращення якості обліково-аналітичного забезпечення управлінських рішень [117]. Окремими авторами доведено доцільність застосування BIM як інструменту цифровізованого управління ризиками, що дає змогу знизити ймовірність виникнення економічних втрат і підвищити стабільність реалізації будівельних проєктів [137]. Водночас обґрунтовано, що інтеграція BIM-технологій у систему управління проєктами забезпечує ефективнішу координацію ресурсів, покращує планування будівельних робіт та сприяє оптимізації витрат протягом життєвого циклу об'єкта [138]. Узагальнення результатів досліджень за цим напрямом підтверджує доцільність розроблення комплексних моделей, які поєднуватимуть інформаційне

моделювання з сучасними методами фінансового моніторингу, контролінгу та кількісного оцінювання ризиків.

Третій напрям наукових досліджень стосується проблематики оцінювання вартості життєвого циклу об'єктів та визначення економічних переваг інноваційних рішень у будівництві.

Відповідно до цього напрямку, важливою теоретичною передумовою цифровізації будівельної діяльності є врахування при упровадженні цифрових технологій життєвого циклу будівельного проєкту [139, 140]. Тобто цифрові технології повинні використовуватися не лише на стадії проєктування або будівництва, а й на всіх етапах існування об'єкта, включаючи передінвестиційні дослідження, експлуатацію, технічне обслуговування, реконструкцію та утилізацію (рис. 1.5). Такий підхід забезпечує формування єдиного інформаційного простору, в якому накопичуються та оновлюються дані протягом усього життєвого циклу об'єкта нерухомості, а також дозволяє отримувати додаткові ефекти на різних стадіях життєвого циклу, сприяючи покрашенню параметрів проєкту в цілому.

Впровадження технологій інформаційного моделювання будівель (BIM) забезпечує формування інтегрованого цифрового середовища управління інвестиційно-будівельним проєктом на всіх стадіях його життєвого циклу. На передінвестиційному етапі BIM сприяє підвищенню якості прогнозування техніко-економічних показників, зниженню інвестиційних ризиків та оптимізації бюджетних параметрів проєкту завдяки використанню достовірних даних і можливостей сценарного моделювання.

На стадії проєктування основний економічний ефект досягається за рахунок автоматизованого виявлення колізій, скорочення кількості проєктних помилок і підвищення точності кошторисних розрахунків. Це забезпечує зменшення витрат на внесення змін до проєктної документації та підвищує обґрунтованість прийняття управлінських рішень.



Рис. 1.5. Формування економічного ефекту BIM-технологій на етапах життєвого циклу інвестиційно-будівельного проєкту

Джерело: розроблено автором

На стадії будівництва використання BIM дозволяє здійснювати ефективний контроль термінів виконання робіт, оптимізувати використання ресурсів та мінімізувати перевитрати. Внаслідок цього підвищується продуктивність будівельного виробництва й скорочується обсяг непродуктивних витрат, пов'язаних із порушенням графіків та неузгодженістю робіт.

На етапах експлуатації та відновлення (або ліквідації) об'єкта BIM забезпечує ефективне управління активами, зниження експлуатаційних витрат, підвищення енергоефективності та раціональне планування процесів

модернізації чи демонтажу. Сукупна дія зазначених ефектів формує інтегральний економічний ефект BIM-моделі, який проявляється у скороченні витрат протягом життєвого циклу проєкту, зменшенні ризиків, підвищенні якості управління та оптимізації тривалості реалізації проєкту.

У науковій літературі висвітлено перспективи впровадження BIM-технологій у вітчизняну практику будівництва та обґрунтовано їх економічні переваги порівняно з існуючими підходами до управління проєктами [118].

Значна увага приділяється інтеграції інформаційного моделювання з концепцією аналізу вартості життєвого циклу (Life Cycle Cost Analysis), що дозволяє оцінювати економічну доцільність проєктних рішень з урахуванням довгострокових експлуатаційних витрат та особливостей використання об'єктів нерухомості [119]. Зарубіжними науковцями також встановлено, що темпи поширення BIM значною мірою залежать від рівня очікуваних економічних вигід та сприйняття інвесторами ефективності цифрових технологій [141]. Поряд із цим досліджуються бар'єри впровадження інформаційного моделювання, серед яких ключове місце посідають економічні ризики, організаційні обмеження та недостатній рівень цифрової зрілості будівельних компаній [142]. Загалом результати цього напряму формують наукове підґрунтя для вдосконалення методик оцінювання економічної ефективності BIM із урахуванням повного життєвого циклу об'єкта та факторів ризику.

Четвертий напрям охоплює дослідження бар'єрів, перспектив розвитку та синергетичних ефектів використання BIM у поєднанні з іншими цифровими технологіями. Науковцями доведено, що застосування інформаційного моделювання підвищує рівень безпеки праці на будівельних майданчиках та забезпечує економічний ефект через зниження витрат, пов'язаних із виробничим травматизмом і ліквідацією наслідків аварійних ситуацій [143]. У низці досліджень визначено ключові перешкоди впровадження BIM у сфері індустріального та збірного будівництва, серед яких переважають фінансові обмеження, недостатня інституційна підтримка та дефіцит кваліфікованих

фахівців [144]. Водночас сучасні наукові підходи демонструють значний потенціал інтеграції BIM із технологіями штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу великих масивів даних, що відкриває нові можливості для підвищення економічної ефективності діяльності суб'єктів будівельного ринку [145]. Важливе місце також належить дослідженням, присвяченим поєднанню BIM з концепціями Lean Construction і Last Planner System, що сприяє підвищенню точності планування, зменшенню втрат ресурсів та оптимізації вартості реалізації проєктів [146]. Отримані результати свідчать про доцільність подальшого вивчення синергетичних ефектів інтеграції BIM з новітніми цифровими технологіями для формування адаптивних моделей управління та подолання економічних бар'єрів масштабної цифровізації будівельної галузі.

Проведений аналіз наукових джерел дає підстави стверджувати, що проблематика економічної ефективності застосування BIM-технологій характеризується багатовекторністю та міждисциплінарним характером та охоплює широкий спектр організаційно-управлінських, фінансово-економічних, технологічних і ризик-орієнтованих аспектів. Водночас більшість існуючих досліджень зосереджується на окремих стадіях життєвого циклу інвестиційно-будівельного проєкту або аналізі локальних ефектів впровадження BIM, що не забезпечує цілісного розуміння процесів формування економічного результату впродовж усього періоду існування об'єкта. Недостатньо дослідженими залишаються закономірності зміни ключових економічних параметрів, показників вартості, рівня ризику, ресурсомісткості та ефективності управлінських рішень залежно від стадії життєвого циклу проєкту, починаючи від передінвестиційної підготовки та проєктування до будівництва, експлуатації й виведення об'єкта з експлуатації.

За таких умов особливого наукового значення набуває розроблення математичних моделей, здатних формалізувати взаємозв'язок між параметрами BIM-моделі та економічними результатами реалізації проєкту на кожному етапі його життєвого циклу. Використання інструментів

математичного моделювання дозволяє не лише кількісно оцінити економічний ефект від впровадження BIM-технологій, а й прогнозувати динаміку витрат, визначати критичні фактори впливу, оптимізувати розподіл ресурсів і мінімізувати ризики прийняття управлінських рішень. Формування комплексного методичного підходу до економічного оцінювання BIM-технологій на основі математичного моделювання параметрів життєвого циклу інвестиційно-будівельного проєкту дозволить підвищити обґрунтованість управлінських рішень та забезпечити максимізацію економічної ефективності на всіх стадіях функціонування об'єкта будівництва.

Результати критичного узагальнення наукових підходів засвідчили фрагментарність досліджень щодо комплексного управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів в умовах цифрової трансформації. Більшість існуючих напрацювань зосереджені або на технічних аспектах впровадження цифрових технологій, або на окремих економічних складових управління проєктами, що не забезпечує формування цілісного методичного підходу до вирішення зазначеної науково-практичної проблеми.

З метою усунення виявлених недоліків, запропоновано комплексний методичний підхід до проведення дослідження, представлений на рис. 1.6, який визначає етапи, завдання, інформаційну базу та методичний інструментарій, що у комплексі забезпечує досягнення поставленої мети роботи.

Запропонована методика передбачає поетапне вирішення поставлених наукових завдань і спрямована на формування сучасного цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів в умовах цифрової трансформації будівельної галузі та складається з трьох взаємопов'язаних етапів, кожен з яких характеризується локальною метою, колом дослідницьких завдань, інформаційною базою та набором методів дослідження.

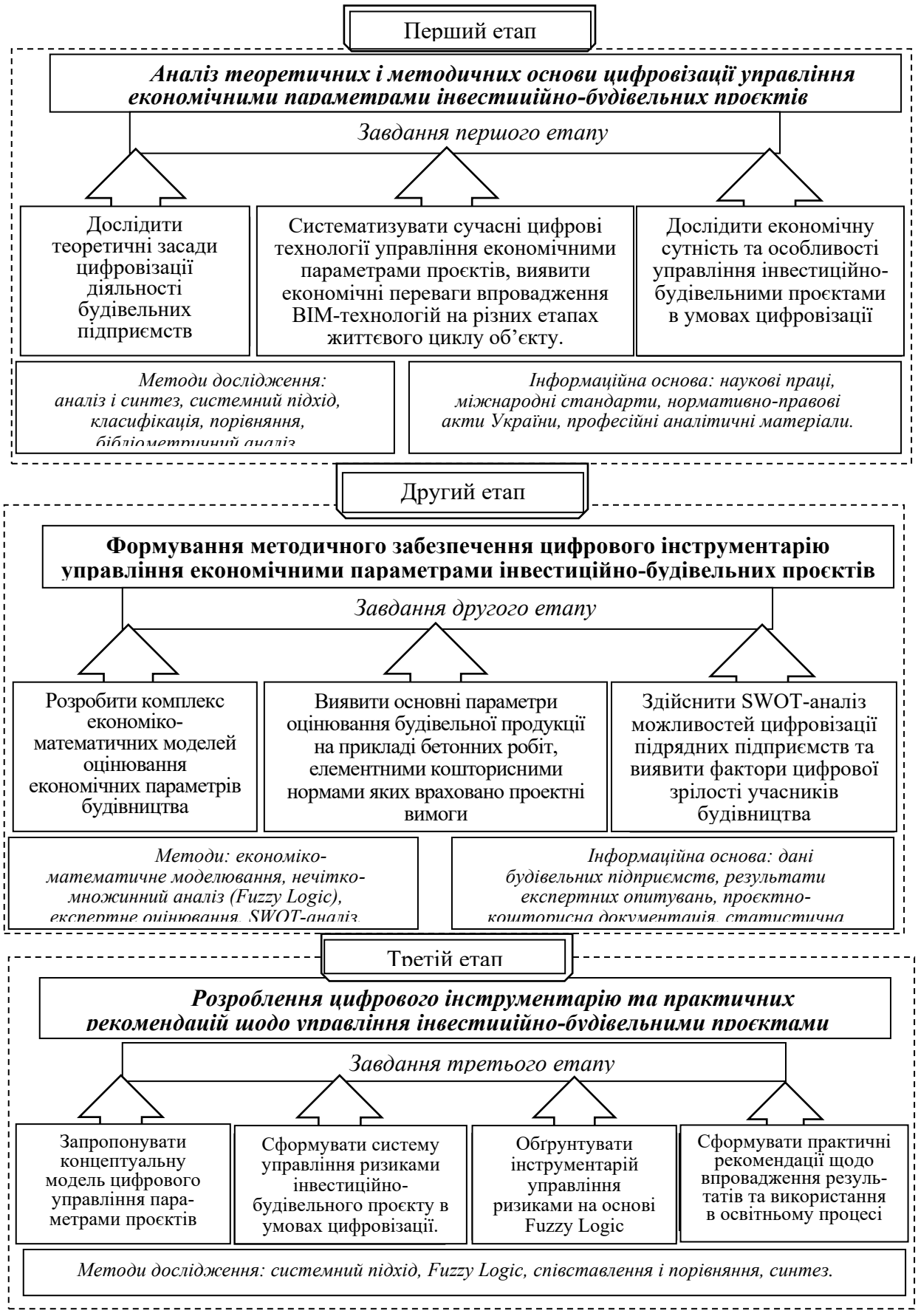


Рис. 1.6. Формування методики дослідження

Джерело: розроблено автором

Виконання зазначених етапів забезпечує поступальний перехід від теоретичного осмислення проблеми до розроблення практичних рекомендацій щодо вдосконалення управління інвестиційно-будівельними проєктами.

Перший етап – аналіз теоретичних і методичних основ цифровізації управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів спрямований на формування теоретико-методологічної бази дослідницької роботи, виявлення сучасних тенденцій цифровізації будівельної галузі та визначення особливостей застосування цифрових технологій у процесі управління економічними параметрами проєктів.

У межах даного етапу передбачено вирішення трьох основних завдань. По-перше, здійснюється дослідження теоретичних засад цифровізації діяльності будівельних підприємств, що дозволяє уточнити сутність цифрової трансформації, визначити місце цифрових технологій у системі управління підприємством та оцінити їхній вплив на підвищення ефективності функціонування суб'єктів будівельної діяльності.

По-друге, проводиться систематизація сучасних цифрових технологій управління параметрами проєктів, а також визначення економічних переваг використання технологій інформаційного моделювання будівель (BIM-технологій) на різних етапах життєвого циклу об'єкта. Особлива увага приділяється аналізу можливостей BIM-інструментів щодо оптимізації витрат, підвищення точності планування, мінімізації ризиків та покращення координації учасників проєкту.

По-третє, досліджується економічна сутність та специфіка управління інвестиційно-будівельними проєктами в умовах цифровізації. В результаті формується концептуальне бачення трансформації традиційних підходів до управління під впливом сучасних цифрових технологій.

Для виконання поставлених завдань використовуються загальнонаукові методи дослідження, зокрема аналіз і синтез, системний підхід, класифікація, порівняння та бібліометричний аналіз. Інформаційну основу першого етапу

становлять праці вітчизняних і зарубіжних науковців, міжнародні стандарти, нормативно-правові акти України, а також професійні аналітичні матеріали.

Другий етап – формування методичного забезпечення цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, має прикладний методичний характер та спрямований на розроблення наукових підходів до формування цифрового інструментарію управління економічними параметрами проєктів.

Першим завданням даного етапу є виявлення та формалізація факторів цифрової зрілості учасників будівництва, які визначають готовність суб'єктів господарювання до впровадження сучасних цифрових технологій. Аналіз факторів цифрової зрілості створює підґрунтя для оцінювання можливостей ефективної цифрової трансформації будівельних організацій.

Друге завдання передбачає визначення основних факторів якості будівельної продукції на прикладі бетонних робіт, елементами контролю яких є нормативні, технологічні та організаційні параметри виконання робіт та оформлення поверхонь. Виявлення таких факторів дозволяє сформувати систему критеріїв оцінювання якості та інтегрувати їх до цифрових механізмів управління проєктом.

Третім завданням є розроблення комплексу економіко-математичних моделей оцінювання економічних параметрів будівництва на основі теорії нечітких множин. Використання апарату нечіткої логіки забезпечує можливість врахування невизначеності, неповноти інформації та експертних суджень, які є характерними для будівельних проєктів.

Методичний інструментарій другого етапу включає економіко-математичне моделювання, методи нечітких множин (Fuzzy Logic), експертне оцінювання, SWOT-аналіз та статистичні методи дослідження. Інформаційною базою виступають дані будівельних підприємств, результати експертних опитувань, проєктно-кошторисна документація та статистична звітність.

Таким чином, другий етап забезпечує наукове обґрунтування та математичну формалізацію процесів управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, створюючи основу для подальшої розробки цифрових управлінських рішень.

Третій етап – розроблення цифрового інструментарію та практичних рекомендацій щодо управління інвестиційно-будівельними проєктами орієнтований на практичне впровадження результатів дослідження. Його основна мета полягає у створенні комплексного цифрового інструментарію та формуванні рекомендацій щодо підвищення ефективності управління інвестиційно-будівельними проєктами.

У межах цього етапу передбачено розроблення моделі цифрового управління економічними параметрами проєктів, яка поєднує результати попередніх теоретичних і методичних досліджень у цілісну систему прийняття управлінських рішень. Створена модель забезпечує інтеграцію цифрових технологій з економічними процесами управління проєктом.

Наступним завданням є формування системи управління ризиками інвестиційно-будівельного проєкту в умовах цифровізації. Така система дозволяє своєчасно ідентифікувати потенційні загрози, оцінювати рівень їхнього впливу та розробляти ефективні механізми реагування на ризикові ситуації.

Завершальним завданням третього етапу виступає обґрунтування та впровадження цифрових інструментів впливу на економічні параметри проєкту, а також впровадження отриманих результатів у навчальний процес. Йдеться про застосування інструментів цифрового моніторингу, аналітики даних, BIM-технологій, автоматизованих систем контролю та моделей підтримки прийняття рішень, що забезпечують підвищення результативності управління впродовж усього життєвого циклу проєкту.

Для реалізації зазначених завдань використовуються методи системного підходу, співставлення та порівняння, а також синтез отриманих результатів.

Запропонований методичний підхід до проведення дослідження є багаторівневою системою трьох взаємопов'язаних етапів, що забезпечує послідовний перехід від теоретичного аналізу проблем цифровізації будівельної галузі до розроблення практично орієнтованого цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів. Логіка дослідження базується на поєднанні загальнонаукових, економіко-математичних та експертно-аналітичних методів, що дозволяє забезпечити наукову обґрунтованість результатів, їхню достовірність та практичну придатність для впровадження в діяльність підприємств будівельної галузі в умовах цифрової трансформації економіки, а також досягнення і мети і завдань дослідження.

Висновки до розділу 1

У результаті дослідження теоретичних і методичних засад цифровізації управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів встановлено, що цифрова трансформація будівельної галузі є одним із ключових напрямів підвищення ефективності інвестиційно-будівельної діяльності в умовах динамічних змін економічного середовища.

Аналіз наукових праць вітчизняних і зарубіжних учених засвідчив значний рівень опрацювання окремих аспектів цифровізації будівництва, зокрема впровадження BIM-технологій, цифрового проєктування, інформаційного моделювання об’єктів, автоматизації процесів управління та застосування сучасних цифрових платформ. Водночас питання формування цілісного цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів залишаються недостатньо розробленими та потребують подальшого наукового обґрунтування.

Визначено, що цифровізація істотно трансформує традиційні підходи до управління економічними параметрами проєктів, забезпечуючи можливість оперативного контролю вартості будівництва, прогнозування витрат, управління фінансовими потоками, моніторингу виконання робіт, оцінювання

ризиків та підтримки управлінських рішень на основі актуальних даних. Використання цифрових технологій створює передумови для підвищення прозорості будівельних процесів, покращення координації учасників проєкту та забезпечення більш високого рівня обґрунтованості економічних рішень протягом усього життєвого циклу об’єкта будівництва.

Аналіз наукових праць дозволив виявити, що ефективність цифрової трансформації значною мірою залежить від готовності учасників будівництва до впровадження нових технологій, якості організації інформаційних процесів і здатності забезпечувати інтеграцію даних у межах єдиного цифрового середовища. Разом із тим процес цифровізації супроводжується певними обмеженнями, серед яких високі витрати на впровадження цифрових рішень, потреба у розвитку цифрових компетентностей персоналу, недостатній рівень стандартизації інформаційних потоків, а також ризики інформаційної безпеки.

У ході дослідження узагальнено наукові підходи до оцінювання ефективності інвестиційно-будівельних проєктів та встановлено, що їх результативність визначається комплексом взаємопов’язаних економічних, організаційних, технічних і ризик-орієнтованих чинників. Встановлено, що ключовими факторами успішної реалізації проєктів є обґрунтованість проєктних рішень, ефективність використання ресурсів, якість організації взаємодії учасників будівництва, своєчасність інформаційного забезпечення та здатність системи управління адаптуватися до змін зовнішнього середовища.

Обґрунтовано, що особливого значення для забезпечення ефективності інвестиційно-будівельних проєктів набуває управління ризиками, пов’язаними з економічною нестабільністю, змінами нормативно-правового середовища, коливанням вартості ресурсів, технологічними викликами та невизначеністю умов реалізації будівельних проєктів. У цих умовах цифрові технології виступають важливим інструментом своєчасного виявлення ризиків, прогнозування можливих відхилень та підтримки процесу прийняття управлінських рішень.

Проведений аналіз засвідчив, що в сучасних наукових дослідженнях відсутній комплексний підхід до формування цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, який би забезпечував інтегроване оцінювання, прогнозування та регулювання економічних показників на всіх етапах життєвого циклу об’єкта будівництва. Це обумовлює необхідність розроблення нових методичних підходів, здатних поєднати цифрові технології, економіко-математичні методи та сучасні механізми управління проєктами.

Відповідно до поставленої мети дисертаційного дослідження сформовано методику дослідження, яка передбачає послідовну реалізацію трьох взаємопов’язаних етапів. На першому етапі здійснюється аналіз теоретичних і методичних засад цифровізації управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, дослідження сучасних цифрових технологій та особливостей їх застосування в будівництві. Другий етап спрямований на формування методичного забезпечення цифрового інструментарію шляхом визначення факторів цифрової зрілості учасників будівництва, факторів якості будівельної продукції та розроблення економіко-математичних моделей оцінювання економічних параметрів на основі теорії нечітких множин. Третій етап передбачає розроблення моделі цифрового управління економічними параметрами проєктів, формування системи управління ризиками та обґрунтування практичних рекомендацій щодо застосування цифрових інструментів у діяльності учасників інвестиційно-будівельного процесу.

РОЗДІЛ 2
НАУКОВО-МЕТОДИЧНЕ ПІДҐРУНТЯ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БУДІВНИЦТВА

2.1. Статистичне оцінювання параметрів будівництва (на прикладі бетонних робіт)

Базою дослідження обрано монолітні залізобетонні роботи, виконання яких регламентується чинними ресурсними елементними кошторисними нормами. Першою підставою для такого вибору є домінуюче положення залізобетонних робіт у структурі будівельного виробництва. Другим важливим аргументом є визначальна роль залізобетону як універсального конструкційного матеріалу сучасного будівництва. У сучасній практиці цивільного, громадського, промислового та інфраструктурного будівництва монолітний залізобетон використовується для зведення фундаментів, колон, балок, плит перекриття, діафрагм жорсткості, підпірних стін, резервуарів, інженерних споруд та інших відповідальних конструктивних елементів. Саме від якості виконання залізобетонних робіт залежить здатність конструкцій сприймати проєктні навантаження, забезпечувати нормативні показники надійності, довговічності та безпеки протягом усього життєвого циклу об’єкта. Відповідно будь-які відхилення технологічних параметрів від проєктних значень можуть спричинити не лише погіршення експлуатаційних характеристик окремих конструкцій, але й зниження функціональної придатності будівлі або споруди в цілому.

На відміну від багатьох інших видів будівельної діяльності, процес створення монолітної залізобетонної конструкції включає значну кількість взаємопов’язаних технологічних операцій. До них належать виготовлення та монтаж опалубки, підготовка арматурних каркасів, транспортування бетонної суміші, її укладання, ущільнення, догляд за бетоном у процесі тверднення, розпалублення та контроль готової конструкції. Кожний із зазначених етапів має власні параметри якості та критичні контрольні точки. Порушення вимог

хоча б на одному з етапів може стати причиною виникнення дефектів, які проявлятимуться у вигляді зниження міцності бетону, недостатньої жорсткості конструкції, утворення тріщин, порушення проєктної геометрії або погіршення довговічності споруди. Таким чином, залізобетонні роботи є показовим прикладом складної виробничої системи, в якій якість кінцевої продукції визначається сукупністю численних технологічних факторів.

Важливою особливістю монолітних залізобетонних конструкцій є також висока залежність якості кінцевого результату від дотримання проєктних параметрів. Проєктна документація містить вимоги до геометричних розмірів конструкцій, класу і марки бетону, типу арматури, розташування арматурних елементів, товщини захисного шару бетону, умов виконання робіт та строків набору міцності. Відповідно якість будівельної продукції може бути формалізована через систему кількісно визначених параметрів, що відкриває можливості для створення автоматизованих систем оцінювання відповідності фактичних характеристик проєктним рішенням.

Окремого значення набуває придатність залізобетонних робіт до цифровізації процесів контролю та моніторингу. Аналіз структури ресурсних елементних кошторисних норм показує відносну однорідність більшості процесів, що підтверджується використанням однакових або близьких одиниць виміру. Так, для 82,18% усіх норм застосовується об’ємний вимірник у вигляді 100 м³. Подібна уніфікація свідчить про схожість як самих технологічних процесів, так і факторів, що впливають на якість виконання робіт. Відповідно стає можливим розроблення універсальних алгоритмів збору, аналізу та інтерпретації інформації про хід виконання робіт, які можуть застосовуватися до широкого кола будівельних об’єктів.

Крім того, залізобетонні роботи характеризуються значною кількістю параметрів, що можуть бути виміряні за допомогою сучасних цифрових технологій. До таких параметрів належать обсяги укладеного бетону, геометричні характеристики конструкцій, фактичне положення арматури, температура бетонної суміші, режим тверднення бетону, строки виконання

окремих операцій, витрати ресурсів та багато інших показників. Використання інформаційного моделювання будівель (BIM-технологій), лазерного сканування, фотограмметрії, сенсорних систем контролю та засобів автоматизованого збору даних дозволяє організувати безперервний моніторинг відповідності будівельної продукції проєктним вимогам протягом усього циклу її створення.

Таким чином, вибір монолітних залізобетонних робіт в якості бази дослідження є цілком обґрунтованим як з теоретичної, так і з практичної точки зору. Такий вибір зумовлений їх домінуючою часткою у структурі чинних кошторисних норм, ключовим значенням для формування несучих конструкцій будівель і споруд, комплексністю технологічних процесів, значною кількістю контрольованих параметрів якості та високим потенціалом цифровізації процедур моніторингу. Саме тому монолітні залізобетонні роботи можуть розглядатися як найбільш репрезентативна модель будівельної продукції для дослідження механізмів забезпечення відповідності результатів будівництва проєктним вимогам та розроблення сучасних цифрових інструментів контролю якості.

Оцінювання параметрів будівельної продукції при зведенні монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій доцільно здійснювати з урахуванням проектних вимог, які вже інтегровані до ресурсних елементних кошторисних норм. Чинний Збірник 6 «Бетонні та залізобетонні конструкції» містить 376 видів робіт, що регламентують потребу в трудових, матеріальних ресурсах і парку будівельних машин для виконання відповідних технологічних процесів. Аналіз структури цих норм свідчить про суттєву однорідність переважної частини будівельної продукції, що створює передумови для формування єдиних підходів до контролю її якості та цифрового моніторингу технологічних процесів.

Одним із ключових параметрів оцінювання будівельної продукції є **обсяг виконаних робіт**, який виступає базою для визначення ресурсомісткості, вартості та якості будівництва. Дослідження показало, що

для 309 видів робіт із 376, або 82,18% їх загальної кількості, використовується об’ємний вимірник у вигляді 100 м³. Така домінуюча частка свідчить про переважання процесів, пов'язаних із виготовленням бетонних сумішей та створенням монолітних конструкцій. Водночас самі об’ємні показники характеризують різні стадії будівельного виробництва, що потребує їх окремого оцінювання.

Важливим параметром оцінювання є **вид будівельної продукції**, оскільки саме він визначає перелік технологічних вимог та критеріїв якості. Аналіз структури норм засвідчив, що 246 позицій, або 65,43% їх загальної кількості, стосуються безпосередньо виготовлення конструктивних елементів із бетону, залізобетону, бутобетону та баритобетону. Найбільшу групу становлять роботи із влаштування залізобетонних конструкцій, на які припадає 168 норм, або 44,68% від загальної кількості та 68,3% від усіх норм, пов'язаних із формуванням конструктивних елементів. Це свідчить про те, що залізобетон слід розглядати як основний об’єкт оцінювання якості в системі монолітного будівництва.

Наступним параметром є **відповідність геометричних характеристик конструкції проектним рішенням**. Оскільки більшість норм характеризують будівельну продукцію в об’ємних одиницях виміру, критичного значення набуває контроль фактичних геометричних параметрів конструкцій: довжини, ширини, висоти, товщини та проектних відміток. Будь-які відхилення від проектних значень безпосередньо впливають як на споживчі властивості готової продукції, так і на фактичні обсяги використаних ресурсів.

Окремим параметром оцінювання виступає **якість бетонної суміші та фізико-механічні характеристики бетону**. Ресурсні норми передбачають значну кількість робіт із приготування матеріалів: 25 норм для виготовлення бетону та 32 норми для приготування розчинів. Загалом вони становлять 63 позиції, або близько 17% від усієї номенклатури. Тому контроль якості будівельної продукції має охоплювати не лише процес укладання суміші, а й відповідність її складу проєктній марці бетону, показникам міцності,

водонепроникності, морозостійкості та іншим експлуатаційним характеристикам.

Значну роль у забезпеченні якості монолітних конструкцій відіграє **армування**, яке також потребує окремого оцінювання. Для визначення потреби у ресурсах на армування передбачено 43 норми, або 11,44% загальної їх кількості. Вимірником продукції в цьому випадку є маса арматури в тоннах. Відповідно, ключовими параметрами контролю стають діаметр і клас арматурної сталі, правильність її розташування, величина захисного шару бетону, якість з'єднань та відповідність фактичного армування проєктним рішенням.

Крім того, до параметрів оцінювання слід віднести **дотримання технологічного процесу виконання робіт**, оскільки від нього безпосередньо залежать експлуатаційні властивості готової конструкції. Для більшості робіт, представлених у збірнику, характерні подібні технологічні етапи: влаштування опалубки, монтаж арматури, приготування і транспортування бетонної суміші, укладання бетону, ущільнення та догляд за ним. Саме порушення цих операцій є однією з основних причин виникнення дефектів та відхилень від проєктних показників якості.

Таким чином, проведений аналіз номенклатури ресурсних елементних кошторисних норм свідчить про відносну однорідність монолітних бетонних і залізобетонних робіт, що проявляється у домінуванні об’ємних вимірників, переважанні конструкцій із залізобетону та подібності застосовуваних технологічних процесів. За таких умов основними параметрами оцінювання будівельної продукції є: обсяг виконаних робіт, геометричні характеристики конструкцій, фізико-механічні властивості бетону, параметри армування, ресурсомісткість процесів і дотримання технологічного регламенту. Сукупність зазначених параметрів може бути використана як методологічна основа для розроблення цифровізованих систем моніторингу якості та контролю відповідності будівельної продукції проєктним вимогам.

Параметри будівельного виробництва (якість, трудомісткість, вартість) дозволяють комплексно, багатоаспектно описати хід і стан будівництва і навіть прогнозувати його розвиток протягом життєвого циклу. Вони об'єднують не лише емпіричні і фізичні характеристики, пов'язані із чуттєвим сприйняттям людини, але й детермінується так званими часовими ознаками. До останніх насамперед належать строк корисного використання, міжремонтний цикл, а також тривалість створення. Звичайно, фізичні характеристики варто визнати як первинні, натомість часові – такими, які мають вторинний похідний характер. Вони забезпечуються належним виконанням усіх технологічних переходів, відповідністю виконаної роботи вимогам стандартів і технічних умов й носять критеріальний характер. Втім, заслуговує на увагу і інша група характеристик – ресурсомісткість, оскільки для прискореного виконання робіт доводиться, по-перше, екстенсивно збільшувати кількість виконавців, застосовуваних ними технічних засобів. По-друге, забезпечення належного рівня емпіричних характеристик результатів роботи досить часто вимагає кількаразового виконання певної послідовності виробничих операцій, що супроводжується більшими втратами матеріальних ресурсів. Усе зазначене вище було враховано нами для поглибленого вивчення ресурсних детермінант якості будівельної продукції. При цьому опрацюванню засобами статистичного аналізу даних та зв'язків між ними було піддано наступні характеристики будівельних робіт:

- витрати труда робітників-будівельників у розрахунку на одиничний обсяг робіт (***Троб***);

- середній розряд ланки робітників-виконавців (***Розр***);

- кількість основних технологічних операцій (***Коп***);

- загальна маса будівельних матеріалів, виробів і комплектів, необхідних для створення одиничного обсягу будівельної продукції (***Ммат***). У цій масі також було враховано, враховуючи усереднений обсяг потреби матеріалів із позначкою «По проекту»;

- кількість номенклатурних позицій матеріальних ресурсів будівництва у розрахунку на одиничний обсяг робіт (***Кмат***), також із урахуванням переліку будівельних матеріалів, виробів, комплектів, які у елементних кошторисних нормах мають позначку «По проекту».

Зв'язок наведеного вище переліку характеристик будівельних робіт із їх описовими параметрами було обґрунтовано наступними міркуваннями:

1. Оскільки і досі велика кількість будівельних робіт виконується вручну, а кошторисний прибуток розраховується на базі трудомісткості, **обсяг і характер трудовитрат** виявляються вирішальними чинниками у формуванні тривалості, вартості та якості будівельної продукції. Попри те, що важливу роль для забезпечення споживчих, експлуатаційних, естетичних характеристик відіграють будівельні матеріали, кваліфікована праця і професійна майстерність робітників дають змогу забезпечити відповідність виконуваної роботи належним вимогам, навіть у випадку використання матеріальних ресурсів, які можуть бути дещо гіршими за аналоги. Разом із тим трудомісткість робіт не може бути охарактеризована як така, що здійснює виключно прямий вплив на параметри будівельної продукції. Мається на увазі та обставина, що занадто працемістким операціям властивий більший ризик втрати якості, спричинений більшою кількістю відхилень від технічних умов, що пояснюється банальною утомою виконавців від монотонних однотипних дій. Натомість відносно «легкі» виробничі операції, витрати праці для виконання яких порівняно незначні, також перебувають під загрозою втрати якості. В даному випадку причиною виявляється прагнення скоротити здійснювані фізичні зусилля, чи зекономити робочий час на певному етапі робіт. Виходячи із викладеного, варто зробити припущення про існування певної «золотої середини» для обсягу витрат праці на виконання одиничного обсягу робіт, відхилення від якої у той чи інший бік створюватимуть передумови для погіршення параметрів будівельної продукції. Таким чином, будівельні процеси, відмінні від «середніх» за трудомісткістю, мають бути об'єктом більш ретельного моніторингу, при цьому з'являється доцільність

додаткового посилення контролюючих процедур за рахунок використання сучасних цифрових технологій.

2. Причина виникнення витрат праці – необхідність виконання технологічних операцій, передбачених у складі робіт. Аналогічно до трудомісткості, буде доцільним припущення про те, що параметри будівництва детермінуються кількістю основних виробничих операцій, проте напрям зв'язку не є односпрямованим. Чим більше різноманітних дій доводиться виконувати, тим вищим буде ризик припуститись помилок, не дотриматись суворої послідовності і фіналізації технологічних переходів, скоротити час роботи за рахунок технічно невиправданої економії зусиль живої та уречевленої праці. Втім, і для робіт із меншою кількістю технологічних операцій не варто однозначно стверджувати про повну відсутність причин для недотримання технічних вимог. Але в такому випадку причиною стає нагромадження втоми працівника через монотонність операцій.

3. Складність виконуваних будівельних робіт вимагає вищої професійної майстерності виконавців, однак комплекс виконуваних у будівництві дій зі створення конструктивних елементів зазвичай передбачає одночасну роботу кількох робітників різного кваліфікаційного рівня. Номінальна структура ланки виконавців будівельних робіт не завжди відповідає реальній, розподіл між ними виробничих завдань може здійснюватись не лише у суворій відповідності із технічними регламентами, але й з урахуванням інших чинників: етичних, поведінкових, психологічних, і його наслідками може бути залучення до складних, відповідальних робіт менш досвідчених виконавців. Даний чинник, пов'язаний із трудовою активністю робітників, звичайно не позбавлений негативного впливу «людського фактору» через фізичну чи моральну утому виконавців, нерівномірність результативного ефекту в часі при порівняно однакових трудових зусиллях, вплив зовнішнього середовища – температура, вологість, характер освітлення.

Виходячи із викладеного, варто припустити характер прямого зв’язку між складністю робіт та відповідністю їх виконання проєктним параметрам.

4. Останній висновок попереднього пункту тісно пов’язаний із таким чинником, як загальна маса будівельних матеріалів, використовуваних під час виконання робіт. Важкі роботи, які передбачають створення конструктивних елементів із використанням металевої арматури, важких будівельних розчинів та сумішей прискорюють утомлюваність робітників, а отже й посилюють ймовірність помилок й відхилень від вимог стандартів якості. Що більшу масу будівельних матеріалів потрібно обробити, перемістити, укласти, сформувати належним чином, тим вищою буде трудомісткість робіт, а отже й можливі її наслідки в частині якості будівництва. Для наведеного матеріального чинника також доцільно перевірити гіпотезу про існування прямого зв’язку між масою використовуваних будівельних матеріалів, виробів, комплектів і вірогідністю відхилень параметрів будівництва.

5. Аналогічне припущення пропонується верифікувати і для показника кількості номенклатурних позицій будівельних матеріалів, необхідних для виконання одиничного обсягу робіт. Адже чим більше складових потрібно відпустити у виробництво, тим більше доводиться здійснювати і контролюючих операцій із перевірки їх якості. В даному випадку йдеться про складність і трудомісткість діяльності працівників інших підрозділів будівельного підприємства, а також інженерно-технічних працівників. Проте «людський фактор» утоми та зниження концентрації уваги при цьому, на жаль, нікуди не зникає, а лише посилюється. І тоді помилка, якої припустились на вході технологічного процесу, продукуватиме негативні для якості наслідки, можливо навіть із мультиплікативним ефектом. Зокрема, гірший за характеристиками будівельний матеріал вимагатиме більше зусиль робітників по укладанню його в діло чи для іншого використання. Отже, у подальшому прискорено накопичиться утома, і доведеться прискорювати активність на інших виробничих операціях. Як наслідок, їх невідповідність технічним вимогам зростатиме, й врешті решт кінцевий результат матиме значно гіршу

якість за аналогічний випадок, коли застосовували кращі будівельні матеріали. Вказане стосується не лише експлуатаційних характеристик елементів будівель, але й тривалості їх створення.

З урахуванням наведених міркувань, чинники, що впливають на параметри будівництва (якість, трудомісткість, вартість) можуть бути згрупованими за джерелами формування у такий спосіб:

1. Організаційні:
    1.1. матеріальні: загальна маса будівельних матеріалів, виробів і комплектів, необхідних для створення одиничного обсягу будівельної продукції (*Ммат*);
    1.2. трудові: витрати труда робітників-будівельників у розрахунку на одинцю робіт (*Троб*).
2. Техологічні:
    2.1. середній розряд ланки робітників-виконавців (*Розр*);
    2.2. кількість основних технологічних операцій (*Коп*);
    2.3. кількість номенклатурних позицій матеріальних ресурсів будівництва у розрахунку на одиничний обсяг робіт (*Кмат*).

Усі зазначені детермінанти параметрів будівництва можна встановити на основі ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні і ремонтно-будівельні роботи, які, власне, і склали інформаційне джерело проведеного дослідження.

Для моделювання впливу на параметри будівництва зазначених вище чинників поглиблено вивчались такі види будівельних робіт, як створення конструкцій з монолітного залізобетону під час нового будівництва. Втім методичні підходи для удосконалення контролю параметрів будівництва будуть однаковими для різних видів робіт, і не лише для обраних, але й для усієї їх сукупності. Зокрема, якість виконання монолітних залізобетонних конструкцій визначає їх можливості задовольняти довгострокові споживчі вимоги до нерухомості. Вони, власне детермінують тривалість життєвого циклу конструктивних елементів будівель і споруд. Чимала частка

залізобетонних робіт належить до прихованих, а тому скринінг їх параметрів має відбуватись не лише у довгостроковому періоді, тобто на стадіях експлуатації будівель, але й ще до повної готовності та здачі об'єкта в експлуатацію є утрудненим.

Для виконання монолітних залізобетонних конструкцій чинним збірником кошторисних норм [147] передбачено 376 видів робіт, які визначають потребу у виробничих ресурсів на виконання різноманітних будівельних процесів. Звичайно, не всі роботи є уніфікованими, проте чимала частка виконуваних робіт характеризується певною однорідністю. Підставою для такого висновку є спільність одиниць виміру для значної частки робіт (табл. 2.1), відповідно чого виникають передумови у подібності чинників зміни якості робіт, та періодичності процедур її контролю.

У відповідності із табл. 2.1 вимірником переважної більшості робіт є об'ємний – 100 куб.м, який використовується для 309 їх видів, або 82,18%. Втім, серед об'ємних показників будівельної продукції теж відсутня однорідність, а саме: 63 види робіт, чи 17% загальної їх кількості характеризують потребу у трудових і матеріально-технічних ресурсах для приготування бетонів, розчинів. Проте, і кумулятивна частка в розмірі 65,43%, яка припадаю на номенклатурні позиції будівельних робіт із укладання в діло бетону, залізобетону, буто- і баритобетону теж має визнаватись значною, оскільки охоплює більше половини усіх видів виконуваних будівельних робіт.

Також на основі табл. 2.1 потрібно відмітити, що переважна більшість робіт із улаштування конструктивних елементів (68,3%) враховує саме застосування залізобетону – 168 норм, або 44,68% їх загальної кількості. Лише 10 норм (тобто 2,66% загальної кількості) має вимірник не об'ємний, а площинний – 100 кв.м поверхні, причому деякі із них необхідні для складання проектно-кошторисної документації не лише специфічних за призначенням промислових об'єктів, але й для цивільних будівель.

Таблиця 2.1

Вимірники обсягів будівельних робіт із виготовлення конструкцій з монолітного залізобетону

Одиниця виміру робіт	Частота видів робіт		Частка видів робіт, %	
	звичайна	кумуля-тивна	звичайна	кумуля-тивна
100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	23	23	6.12	6.12
100м3 бетону і залізобетону в ділі	*25*	*48*	*6.65*	*12.77*
100м3 залізобетону в ділі	*168*	*216*	*44.68*	*57.45*
100 м3 бетону в ділі	*22*	*238*	*5.85*	*63.30*
100 м3 бутобетона в ділі	1	239	0.27	63.56
100 м3 баритобетону в ділі	3	242	0.80	64.36
100 м3 залізобетону з вирахуванням об`єму жорсткої арматури	2	244	0.53	64.89
100 м3 засипки	2	246	0.53	65.43
Разом виготовлення конструктивних елементів	**246**		**65.43**	
100 м3 завантаження	*4*	250	1.06	66.49
100 м3 ємкості	*2*	252	0.53	67.02
100 м3 бетону	*25*	277	6.65	73.67
100 м3 розчину	*32*	309	8.51	**82.18**
Разом приготування будівельних матеріалів	***63***		***17***	
100м2 площі горизонтальної проекції ростверків	1	310	0.27	82.45
100м2 підливки під устаткування	2	312	0.53	82.98
100м2 перекриття	2	314	0.53	83.51
100 м2 поверхні	5	319	1.33	84.84
1 м2 конструкцій	3	322	0.80	85.64
100 м осьової лінії опалубки	4	326	1.06	86.70
100 м колії	1	327	0.27	86.97
100 м шва	3	330	0.80	87.77
100 шт стиків	3	333	0.80	88.56
1 т арматури	42	375	11.17	99.73
1 т арматурної сталі	1	376	0.27	100.00
Разом	376		100	

Джерело: Розраховано автором на основі [147]

Аналогічне можна зазначити і для робіт із лінійним вимірником, типу 100 м, проте загальна кількість таких норм іще менша – 7, тобто 1,86%. 43 норми, чи 11,44% загальної їх кількості, визначають потреби у ресурсах на армування монолітних конструкції, тому вимірником їх обсягів є тоннаж укладеної арматури.

Таким чином, можна зробити висновок про відносну однорідність робіт із улаштування монолітних залізобетонних конструкції, значну подібність причин, через які може спостерігатись відхилення їх параметрів від проєктних та, відповідно, розробити загальний методичний підхід для цифровізованого

моніторингу дотримання технологічного процесу.

У табл. 2.2. систематизовано основні описові статистики основних характеристик будівельних робіт із улаштування конструкцій із монолітного залізобетону. Статистичні розрахунки виконувались не за усією сукупністю будівельних робіт, передбачених збірниками РЕКН, а на основі їх вибірки, утвореної з метою забезпечення однорідності робіт за характером будівельної продукції.

Зокрема, для робіт із улаштування залізобетонних конструкції було розглянуто лише ті, одиницею виміру яких може бути 100 м^3 бетону, залізо-, буто- чи баритобетону в ділі або ж приготовленого бетону/розчину, 100 м^2 поверхні, або 1 т арматури чи закладних деталей. Таким чином, складові ресурсних норми на установлення й розбирання опалубки, контролю якості стиків, установлення деформаційних швів, завантаження фільтрів та ємностей утворили окрему підвибірку так званих додаткових робіт зі створення конструкцій із монолітного залізобетону.

Враховуючи вищенаведений аналіз одиниць виміру виконаних робіт, розмірність характеристик приймається у розрахунку на 100 м^3 бетону/залізобетону в ділі.

До складу досліджуваних описових статистик було включено мінімальне й максимальне значення, нижній та верхній квартилі, середнє значення і його надійний інтервал, показники асиметрії та варіації (табл. 2.2).

В цілому по роботах із улаштування залізобетонних конструкцій потрібно відзначити наступні характеристики:

Середня трудомісткість одиничного обсягу робіт 256.39±62.92 люд.-год. на умовну одиницю будівельної продукції.

Таблиця 2.2

Описові статистики основних факторів якості будівельних робіт зі спорудження монолітних залізобетонних конструкцій на об'єктах нового будівництва

Характеристика будівельних робіт	Інтервальна оцінка середнього	Межі надійного інтервалу середнього		Розмах варіації		Квартилі		Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації	Коефіцієнт асиметрії
		ліва	Права	мінімум	максимум	1–й	3–й			
По залізобетонних роботах в цілому, 376 видів										
Кількість основних і допоміжних операцій	8.09±0.44	7.66	8.53	1.00	55.00	5.00	8.00	4.32	53.32	4.44
Середній розряд робіт	3.36±0.07	3.28	3.43	2.00	6.00	3.30	3.70	0.72	21.48	–0.35
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	**256.39±62.92**	**193.48**	**319.31**	**0.09**	**7068.60**	**3.81**	**234.85**	**620.44**	**241.99**	**5.25**
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	95.75±21.73	74.02	117.47	0.00	2720.92	1.74	244.86	214.28	223.80	8.58
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	7.71±0.43	7.28	8.13	0.00	18.00	4.00	11.00	4.22	54.70	–0.02
По об'ємних залізобетонних конструкціях, 245 видів										
Кількість основних і допоміжних операцій	9.18±0.37	8.82	9.55	5.00	18.00	8.00	8.00	2.92	31.78	2.13
Середній розряд робіт	3.53±0.04	3.49	3.57	2.50	5.10	3.30	3.70	0.31	8.78	1.26
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	**382.75±92.86**	**289.89**	**475.61**	**0.27**	**7068.60**	**9.05**	**456.19**	**737.88**	**192.78**	**4.30**
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	139.54±31.9	107.64	171.43	0.00	2720.92	11.00	249.23	253.46	181.65	7.49
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	10.07±0.4	9.67	10.47	0.00	18.00	9.00	12.00	3.14	31.22	–0.86
По площинних залізобетонних конструкціях, 10 видів										
Кількість основних і допоміжних операцій	5±2.36	2.64	7.36	1.00	8.00	1.00	8.00	3.30	66.00	-0.26
Середній розряд робіт	3.53±0.31	3.22	3.84	3.00	4.00	3.20	4.00	0.43	12.10	0.12
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	**18.96±22.75**	**–3.79**	**41.71**	**0.10**	**97.60**	**0.54**	**23.00**	**31.80**	**167.72**	**2.07**
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	17.79±31.81	–14.01	49.60	0.01	142.55	0.05	5.10	44.46	249.88	3.01
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	4.2±0.88	3.32	5.08	2.00	6.00	4.00	5.00	1.23	29.27	-0.02
По арматурних роботах, 44 види										
Кількість основних і допоміжних операцій	6.48±1.69	6.48	4.79	8.17	1.00	34.00	3.00	10.00	5.56	85.89
Середній розряд робіт	3.89±0.12	3.89	3.78	4.01	3.20	4.70	3.55	4.25	0.38	9.84
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	**41.47±20.41**	**41.47**	**21.06**	**61.88**	**2.65**	**333.30**	**11.48**	**32.64**	**67.13**	**161.87**
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	29.41±16.35	29.41	13.05	45.76	1.00	243.60	1.00	51.27	53.79	182.93
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	2.27±0.18	2.27	2.09	2.45	1.00	3.00	2.00	3.00	0.59	25.75
По інших роботах, 77 види										
Кількість основних і допоміжних операцій	5.95±1.33	5.95	4.62	7.28	2.00	55.00	5.00	5.00	5.87	98.71
Середній розряд робіт	2.47±0.24	2.47	2.23	2.71	2.00	6.00	2.00	2.00	1.04	42.15
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	**7.99±5.28**	**7.99**	**2.71**	**13.28**	**0.09**	**190.30**	**2.58**	**3.02**	**23.28**	**291.33**
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	4.44±4.87	4.44	–0.43	9.31	0.00	190.10	1.55	2.60	21.46	483.33
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	3.75±0.4	3.75	3.36	4.15	0.00	12.00	3.00	4.00	1.75	46.58

Після уточнення виду робіт показники трудомісткості набули таких значень (табл. 2.2): улаштування залізобетонних конструкцій – 382.75±92.86 люд-год. на обсяг у 100 $м^3$, для бетонування поверхонь – 18.96±22.75 люд-год. на площу у 100 $м^2$, на укладання арматури – 41.47±20.41 люд-год. на 1 т, 7.99±5.28 люд-год на відповідні одиничні обсяги для решти робіт, які унормовані 77-ма РЕКН.

Згідно розрахунків саме виконання робіт із улаштування бетонів у діло сприяє досить високому показнику витрат праці на одиницю робіт. Натомість усі інші види будівельної продукції, вимірювані площею, масою, чи відмінні від укладання в діло бетонів і розчинів, передбачають значно меншу трудомісткість. Втім, деякі підвибірки не можуть бути визнаними малими, а тому постає потреба у глибшому вивченні їх ресурсних характеристик у зв'язку із формуванням якості робіт.

Для кожної із підвибірок будівельних робіт виявлено кількісні розбіжності у технологічних процесах, насамперед у кількості виконуваних основних та допоміжних операцій. При їх підрахунку, як ішлося вище, було враховано склад робіт, передбачених у збірниках кошторисних норм, причому позиції складу робіт, у яких міститься перелік операцій було враховано як кожну окрему операцію. Наприклад у п.п. 1, 3 і 5 складу робіт для групи 56 «Виготовлення арматурних каркасів колон на будівельному майданчику з установленням в конструкцію» зазначено:

1. Розвантаження і подавання арматури до місця виготовлення каркасу [стенду].

3. Сортування, випрямляння, гнуття і різання арматурної сталі.

5. Збирання каркасу колон з арматурних стрижнів, електроприхвачування окремих стрижнів.

Відповідно цих трьох пунктів нами було враховано 8 операцій: розвантаження, подавання, сортування, випрямляння, гнуття, різання, збирання каркасу, електроприхвачування. Аналогічним чином визначалась кількість операцій робіт, типових для виготовлення конструкцій із

монолітного залізобетону, перелік основних і допоміжних операцій яких міститься у технічній частині Збірника 6 [147]. Як видно із розрахунків (табл. 2.2), для створення одиниці будівельної продукції в середньому необхідно здійснити біля 8-ми операцій (8.09±0.44, але результат слід заокруглити до цілого числа, щоб не втратити змістовний характер дослідження). Звичайно, для робіт, спрямованих на створення об'ємних конструкцій, зусиль потрібно більше, а кількість операцій буде близькою до 9 (9.18±0.37). Натомість для «площинних конструкцій, із вимірником у 100 м^2, в середньому потрібно здійснити від 3 до 7 операцій (5±2.36 за табл. 2.2). Значно ширший надійний інтервал середнього, понад 2 операції, зумовлений різноманітністю конструкцій за призначенням і вимогами міцності, надійності, довговічності – плита перекриття, підливка під устаткування чи горизонтальна поверхня ростверку характеризуються різними експлуатаційними навантаженням та строком корисного використання. Для арматурних та решти залізобетонних робіт в середньому доводиться здійснити 5 – 7 операцій, точніше (6.48±1.69 для армування і 5.95±1.33) для решти робіт, передбачених [147].

Виконані у табл. 2.2 розрахунки дозволяють наближено оцінити середню тривалість виконання 1-ї технологічної операції, а саме: від 25.27 до 37.43 люд.-год. на одиничний обсяг будь-яких залізобетонних робіт, помітно більше – від 32.88 до 49.80 люд.-год. на 100 м^3 конструкцій, значно менше – від 3,8 до 5,67 люд.-год. на 100 кв.м площі проекції відповідних конструктивних елементів та в межах 4.40 … 7.58 люд.-год. на укладання 1 т арматурних матеріалів. Операції із приготування бетонів, розчинів і інші виявляються значно коротшими, вимагаючи лише 0.59…1.82 годин витрат живої праці робітників-будівельників.

Наведені результати усереднення трудомісткості окремих виробничих активностей слід враховувати під час здійснення процедур контролю проєктних параметрів робіт, оскільки менші витрати часу можуть індикувати недотримання технологічних вимог і недоброякісне виконання роботи, що у

подальшому може відображатись на їх якості, трудомісткості і вартості. Втім, більша тривалість робочих процесів також не повинна лишатись осторонь уваги фахівців технічного нагляду, тому що її можуть спричинити ускладнення через використання будівельних матеріалів неналежної якості, брак кваліфікації та досвіду виконавців, або їхня утома. А всі перелічені чинники, власне, і призводять до відхилень проєктних параметрів будівництва.

Щодо кваліфікаційних вимог по різних видах робіт, потрібних для створення монолітних залізобетонних конструкцій, спостерігається однорідність для «об'ємних» та «площинних» конструкцій: в обох випадках середній розряд складності дуже близький до 3,5 (відповідно табл. 2.2, 3.53±0.04 і 3.53±0.31). Дещо вищої кваліфікаційної майстерності вимагають арматурні роботи, оскільки середній розряд, передбачений нормами 3.89±0.12, натомість приготування розчинів та інші роботи виявляються менш складними – виконавці не обов'язково повинні володіти навичками 3-го розряду, вистачить і 2,5, точніше 2.47±0.24. В цілому по монолітних залізобетонних роботах середній рівень кваліфікації робітників перебуває в межах 3.36±0.07 розряду.

Фізична втома, як і будь-яка інша, чинить значний вплив на якісні результати будь-якої роботи, не виняток й виконання монолітних залізобетонних конструкцій. Найтяжчими відповідно до табл. 2.2 виявились роботи із вимірником у 100 м^3 бетону/залізобетону в ділі, вимагаючи фізичних маніпуляцій в середньому над 139.54±31.9 т різноманітних будівельних матеріалів. Значно легшими у прямому розумінні є арматурні роботи, оскільки в сукупності із 1 т арматури доведеться укладати 29.41±16.35 т всіляких будівельних матеріалів. Домінування площинних розмірів над товщиною «полегшує» створення залізобетонних конструкцій із вимірником у 100 м^2, тому що на одиничний обсяг у середньому потрібно маніпулювати 17.79±31.81 т будівельних матеріалів, виробів, комплектів. На фоні перерахованих показників маси матеріалів приготування бетонів та розчинів,

інші роботи видаються найлегшими, оскільки їх одиничний обсяг пов’язаний із залученням 4.44±4.87 т матеріальних ресурсів. Оскільки до цієї підгрупи увійшли різноманітні за складом роботи, для них спостерігається дуже широкий надійний інтервал середньої маси матеріальних ресурсів: він більший за середній розмір потреби (4,87>4,44), хоча при порівнянні із абсолютною величиною півширини надійних інтервалів середнього для інших робіт він завеликим і не здається (табл. 2.2). В цілому роботи зі створення конструкцій із монолітного залізобетону можна було б асоціювати із укладанням в діло 95.75±21.73 т будівельних матеріалів, виробів, комплектів на одиничний обсяг будівельної продукції, хоча цей показник є вельми умовним. Також в аспекті контролю параметрів будівництва вважаємо за доцільне звертати увагу інженерно-технічних працівників саме на роботи, віднесені нами до останньої підвибірки: із різноманітними вимірниками, відмінними від тоннажу, площі чи об’єму укладених в діло бетону, залізобетону, арматури. Такі роботи мають бути врахованими під час розроблення цифровізованих систем моніторингу, аналізу, контролю параметрів будівництва, насамперед із тих міркувань, що, по-перше, чимало із них передбачають приготування матеріалів виробничого споживання, якість яких часто є вирішальною для приймання виконаних робіт, по-друге, улаштування швів і інші необхідні складові конструктивних елементів належать до «прихованих» і наслідки їх невідповідності чинним вимогам стандартів у подальшому виявити та усунути вкрай складно і дорого.

Аналізуючи матеріальну складову ресурсного забезпечення монолітного будівництва, можна виявити порівняно невелику номенклатуру будівельних матеріалів, виробів комплектів для всіх видів робіт, окрім безпосереднього створення конструктивних елементів, які вимагають близько 10 найменувань матеріалів (10.07±0.4 за табл. 2.2). Для решти робіт вимагається лише 2–4 найменування: «площинні» конструктиви – 4.2±0.88, укладання арматури – 2.27±0.18, решта робіт – 3.75±0.4. В цілому по всіх нормах збірника розмаїття номенклатури будівельних матеріалів наближається до 8 позицій на вид робіт,

точніше (табл. 2.2) 7.71±0.43. Номенклатурі будівельних матеріалів більшою мірою, аніж іншим характеристикам, властива лівостороння асиметрія, тобто частіше зустрічатимуться роботи із більшими за середні витратами різних видів матеріалів. Останнє не стосується тільки робіт, відмінних від укладання в діло бетону, залізобетону, армування, оскільки у цій підвибірці всі досліджувані ресурсні характеристики будівельних процесів мають виражену правосторонню асиметрію.

Правостороння асиметрія і пов'язане із нею домінування менших за середнє значень витрат матеріальних і трудових ресурсів, складності робіт встановлено майже для всіх видів будівельної продукції із монолітного залізобетону, за винятком кількості технологічних операцій при формуванні «площинних» конструкцій та в цілому по вимогах до розряду складності будівельних робіт (табл. 2.2). Отже, в центрі уваги моніторингу та використовуваного цифрового інструментарію контролю параметрів будівництва мають бути випадки надмірно економного витрачання матеріальних і трудових ресурсів, особливо за понесення таких витрат в розмірах, нижчих за усереднені нормами рівні.

Однак, крім безпосереднього контролю використання робочого часу, доставлених на приоб'єктні склади будівельних матеріалів, вважаємо за доцільне укласти перелік будівельних робіт, які апріорно є «ризиковими» з точки зору «людського фактору», оскільки вимагають завеликих чи навпаки замалих зусиль для здійснення. У такий спосіб вдасться поліпшити попередній контроль параметрів будівництва та оптимізувати витрати ІТП в ході поточного контролю.

Сукупність робіт було сформовано за критеріями значно вищих чи нижчих за середні витрати праці, кількості виробничих операцій та маси матеріальних ресурсів, використовуваних у виробничих процесах. Порогові значення критеріїв – квантилі, що відокремлюють із сукупності по 25% найшвидших і найтриваліших робіт, при цьому для включення роботи у перелік необхідно було її потрапляння у «крайні» квантилі одночасно за

трьома характеристиками: витрати праці – кількість операцій – маса матеріалів. Приклад перелік будівельних робіт, контроль яких має вищий пріоритет подано у додатку А (Табл. А.1 – А.2). Окрім шифру і назви робіт за збірником, у таблиці додатку зазначено інші параметри будівельної продукції.

Варто відзначити, що переважній більшості аналізованих характеристик властива дуже висока мінливість, оскільки коефіцієнт варіації у табл. 2.2. за винятком поодиноких випадків перевищує 25 %. Це означає досить високу умовність оцінок середніх значень показників, оскільки для кожної конкретної роботи витрати труда, складність робіт, кількість виробничих операцій, необхідних матеріалів і їх маса можуть не збігатись із усередненими рівнями.

Винятковими випадками із порівняно низькою мінливістю є такі унормовані показники, як середній розряд робіт для об’ємних, площинних конструкцій та їх армування. Зазначене свідчить про необхідність подальших досліджень закономірностей у відхиленнях від усередненого рівня між трудовими, матеріальними ресурсами, способами їх залучення у виробничі процеси та можливим негативним впливом на якість виконання робіт.

2.2. Економіко-математичне моделювання параметрів будівництва (на прикладі бетонних робіт)

У табл. Б. 1.1 – 1.5, додатку Б наведено кореляційні матриці для досліджуваних характеристик будівельних процесів. Для своєчасного запобігання мультиколінеарності регресій кореляційні зв’язки досліджувались не лише між факторною та пояснюючими змінними, але й усередині наборів незалежних змінних. Тому кореляційні матриці додатків квадратні. Для кращого сприйняття значень коефіцієнтів кореляції таблиці додатків заповнені лише у «верхньому трикутнику – тільки над головною діагоналлю із одиниць (1).

Попри великі вибірки даних про потреби у виробничих ресурсах, значна кількість коефіцієнтів кореляції виявилась статистично малозначимими, тобто такими що не можуть визнаватись достовірними для будь-яких інших вибірок

даних про ресурсні потреби будівництва. Навпаки, статистично значимі коефіцієнти тісноти зв'язку, виділені у таблицях додатку Б **жирним шрифтом**, показують, що, принаймні у 95 із 100 подібних сукупностей таблиці даних про необхідні матеріально-технічні та трудові ресурси будівництва, а також пропорції зміни цих кількісних даних будуть подібними. Для монолітних бетонних робіт лише 40% усіх кореляційних коефіцієнтів характеризуються достатньою статистичною значимістю (табл. Б. 1.1 – Б. 1.5 додаток Б).

Втім, пропорційність одночасного збільшення чи зменшення кількості та маси необхідних матеріалів, витрат труда та потрібної кваліфікації робітників, кількості необхідних трудових операцій виявиться вельми умовною, оскільки за модулем переважна більшість значень кореляційних коефіцієнтів не перевищує 0,6 – порогу значимості лінійного зв'язку.

Як свідчать розрахунки, варіація організаційних і технологічних характеристик усіх видів робіт не характеризується високою щільністю статистичного зв'язку. Так, середнє за модулем значення коефіцієнтів кореляції для монолітних робіт 0,262. Про близькість такого зв'язку до лінійного можна стверджувати за модулів коефіцієнтів парної кореляції, вищих, аніж 0,6. У відповідності із даними Додатку Б виявлено тільки 9 пар характеристик монолітних робіт із істотним зв'язком варіації та 4 випадки майже пропорційного зв'язку, а саме:

1. **трудомісткість та маса матеріалів –** по всій сукупності монолітних з/бетонних конструкцій (0,7283), по роботах, одиницями виміру яких є 100 кубометрів конструкцій (0,7076) та решті робіт (0,8951);

2. **середній розряд складності робіт і кількість виконуваних операцій** – для «площинних» монолітних робіт – зі знаком «мінус» (тобто – 0,7964), інакше кажучи між даними характеристиками спостерігається різноспрямований зв'язок: більш кваліфікована праця буде потрібна для меншої кількості виробничих активностей, більшою буде кількість операцій із меншою складністю виконання, однак будь-який варіант поєднання

визначається конструктивним елементом: чи то доведеться споруджувати ростверк, або панель перекриття, або ж підливки під устаткування чи поверхню ємнісних промислових споруд.

Вказані пари характеристик виявились значимими і для інших монолітних робіт, проте тіснота стохастичного зв'язку під час змін «учасників пар» виявилась значно нижчою. Так, різноспрямована залежність між кількістю операцій і розрядом виконуваних робіт спостерігається і для армування з/бетонних конструкцій, значимий зв'язок, але зі слабкою додатною кореляцією складових цієї пари характеристик наявний і у всій вибірці, і для робіт із об'ємним вимірником. За винятком «площинних робіт», всі інші характеризуються значимим односпрямованим зв'язком змін маси матеріалів і витрат труда будівельників. Але дещо «дивним» видається, що такий зв'язок слабший за прямо пропорційний для робіт із армування конструкцій, вимірником якого визначено саме тони укладеної металевої арматури. Натомість максимальне значення парної кореляції (0,8951) і, відповідно, максимальна наближеність до пропорційної, майже лінійної, залежності спостерігається для різноманітних залізобетонних робіт, із різними одиницями виміру, виконання яких потрібно для якісного створення конструктивних елементів, тобто в підвибірці кошторисних норм на роботи із приготування розчинів та бетонів, улаштування швів, установлення та розбирання опалубки.

Розрахунки виконувались на основі програмного комплексу STATISTICA, результати моделювання зведено у табл. 2.3. Поряд із коефіцієнтами регресійного рівняння зазначено півширину їх надійних інтервалів та величину критеріїв статистичної значимості (t-критеріїв). Для кожного виду робіт подано регресійне рівняння в абсолютних та стандартизованих величинах. Окрім регресійних рівнянь, таблиці містять і основні показники статистичної значимості отриманих залежностей.

Рівень достовірності усіх отриманих емпіричних формул для монолітних робіт в цілому можна визнати як «середній». Адже коефіцієнт

достовірності апроксимації (табл. 2.3) становить R^2=0,5304. Це означає, що понад 50% варіації нормативних витрат праці робітників пояснюється змінами маси будівельних матеріалів, виробів, комплектів, необхідної для укладання у конструкції.

Таблиця 2.3

Результати регресійного моделювання впливу факторів на трудомісткість будівельних робіт зі спорудження монолітних залізобетонних конструкцій

Показник, залежність	**Значення показника, аналітичний запис залежності**
Досліджувана сукупність	**Всі залізобетонні роботи, незалежна змінна – маса матеріалів, (Ммат), d.f=374**
Регресійне рівняння	Троб=$(54{,}50\pm24{,}054)_{(t=2{,}266,\ p=0{,}024)}+(2{,}110\pm0{,}103)_{(t=20{,}552,\ p=0{,}000)}$•Ммат
Стандартизоване регресійне рівняння	$\overset{\circ}{}_{\text{Троб}} = (0{,}728 \pm 0{,}035)\bullet \overset{\circ}{}_{\text{Ммат}}$
Достовірність апроксимації, R^2	0,530
Коефіцієнт Фішера	422,40
Стандартна помилка	425,74
Досліджувана сукупність	**«Об'ємні» залізобетонні роботи, незалежна змінна – маса матеріалів, (Ммат), d.f=243**
Регресійне рівняння	Троб=$(95{,}33\pm38{,}124)_{(t=2{,}500,\ p=0{,}131)}+(2{,}060\pm0{,}132)_{(t=15{,}608,\ p=0{,}000)}$•Ммат
Стандартизоване регресійне рівняння	$\overset{\circ}{}_{\text{Троб}} = (0{,}708 \pm 0{,}045)\bullet \overset{\circ}{}_{\text{Ммат}}$
Достовірність апроксимації, R^2	0,501
Коефіцієнт Фішера	243,62
Стандартна помилка	522,5
Досліджувана сукупність	**«Площині» залізобетонні роботи, незалежна змінна – маса матеріалів, (Ммат), d.f=8**
Регресійне рівняння	Троб=$(21{,}165\pm11{,}400)_{(t=1{,}856,\ p=0{,}100)}+(-0{,}124\pm0{,}249)_{(t=-0{,}498,\ p=0{,}632)}$•Ммат
Стандартизоване регресійне рівняння	$\overset{\circ}{}_{\text{Троб}} = (-0{,}173 \pm 0{,}348)\bullet \overset{\circ}{}_{\text{Ммат}}$
Достовірність апроксимації, R^2	0,030
Коефіцієнт Фішера	0,248
Стандартна помилка	33,217
Досліджувана сукупність	**Армування залізобетонних конструкцій, незалежна змінна – маса матеріалів, (Ммат), d.f=42**
Регресійне рівняння	Троб=$(24{,}048\pm10{,}300)_{(t=2{,}335,\ p=0{,}024)}+(0{,}591\pm0{,}167)_{(t=3{,}496,\ p=0{,}024)}$•Ммат
Стандартизоване регресійне рівняння	$\overset{\circ}{}_{\text{Троб}} = (0{,}475 \pm 0{,}136)\bullet \overset{\circ}{}_{\text{Ммат}}$
Достовірність апроксимації, R^2	0,225
Коефіцієнт Фішера	12,223
Стандартна помилка	57,783
Досліджувана сукупність	**Інші залізобетонні роботи, незалежна змінна – маса матеріалів, (Ммат), d.f=75**
Регресійне рівняння	Троб=$(6{,}680\pm1{,}216)_{(t=3{,}025,\ p=0{,}003)}+(1{,}216\pm0{,}056)_{(t=17{,}388,\ p=0{,}000)}$•Ммат
Стандартизоване регресійне рівняння	$\overset{\circ}{}_{\text{Троб}} = (0{,}895 \pm 0{,}051)\bullet \overset{\circ}{}_{\text{Ммат}}$
Достовірність апроксимації, R^2	0,801
Коефіцієнт Фішера	302,33
Стандартна помилка	10,449

Джерело: розраховано автором

Натомість майже 47% решти мінливості витрат труда (1–0,5304≈ 0,47) спричинено іншими факторами, аніж складові потреби у виробничих ресурсах. Подібний характер достовірності апроксимації зумовлений домінуванням робіт зі створення "об'ємних конструкцій" Так, у підвибірці із вимірником одиниці будівельних робіт у 100 м^3 рівень достовірності апроксимації фактичної волатильності трудовитрат за рахунок змін маси використовуваних будівельних матеріалів R^2=0,501, тобто маса матеріалів детермінує половину потрібних затрат праці. Втім, такий висновок буде хибним для залежності між тоннажем матеріальних ресурсів і потрібними витратами праці робітників, рівень достовірності апроксимації у даній підвибірці нижчий за середній і становить 0,225.

Натомість для решти будівельних робіт із різноманітними вимірниками регресійна залежність трудомісткості від використовуваних у роботі будівельних матеріалів виявила максимальну достовірність апроксимації (табл. 2.3), коефіцієнт якої становить R^2=0,801. Тільки 20% мінливості витрат труда при здійсненні допоміжних робіт під час виготовлення конструкцій із монолітного залізобетону детермінуються іншими факторами, аніж матеріальні ресурси, необхідні для будівельного виробництва. Таким чином, для переважної більшості залізобетонних робіт визначальним чинником витрат труда є маса будівельних матеріалів, потрібних для виготовлення 100 м^3 конструкцій чи іншого одиничного обсягу робіт, застосовуваного при обчисленні потреби у матеріальних і трудових ресурсах для виконання бетонних і з/бетонних монолітних конструкцій. Адже моделі, наведені у табл. 2.3, містять тільки цю одну пояснюючу змінну. Звичайно, можна було б отримати і більші за розміром стохастичні залежності, втім їх інформаційна цінність суттєво не зростає, тому що ресурсно-технологічний набір факторів дає змогу пояснити не більше 50% варіації витрат труда робітників.

Натомість інші причини мінливості обсягів необхідної живої праці зумовлені чинниками, які пропоновані моделі не враховують, зокрема це й ускладнюючі умови виконання робіт на об'єкті, чинники природно-

кліматичного оточення, час роботи упродовж доби, середній вік та стаж роботи виконавців та ін. Втім, однофакторну модель порівняно легше запровадити у практику управління – передусім за рахунок інтеграції її параметрів до засобів цифровізованого контролю будівельними процесами. На користь достатності однофакторних регресій для контролю обсягів трудовитрат у зв'язку із управлінням параметрами будівництва свідчать і дуже високі значення критерію Фішера і, відповідно, низькі показники імовірності помилки у разі застосування пропонованих емпіричних формул для довільних вибірок інформації про виконані роботи із створення монолітних з/бетоних конструкцій та масу використаних при цьому будівельних матеріалів й здійснення витрат труда робітників.

Для більшості підвибірок будівельних робіт (табл. 2.3) імовірність помилкового узагальнення не перевищує 1% за винятком площинних конструкцій. Тут помилковість регресійної формули значно вища, а причина такої низької точності моделі головно полягає у невеликій вибірковій сукупності подібних робіт, передбачених ресурсними елементними нормами.

Тому детальніше проаналізуємо параметри залежностей із табл. 2.3. Насамперед зазначимо, що через замалий обсяг вибірки, усі залежності для трудомісткості спорудження площинних з/бетонних конструкцій виявились малозначимими, тому рівняння для цієї підгрупи робіт має досить умовний характер. Також його коефіцієнти помітно вирізняються серед решти, оскільки лише для площинних робіт виявлено від'ємний нахил коефіцієнта при пояснюючий змінний. Його зміст полягає в тому, що чим більшу масу будівельних матеріалів необхідно укласти в діло, тим менше витрат праці для цього необхідно. Частково цей дещо незвичний висновок можна пояснити особливостями підрахунку обсягів робіт – маса будівельних матеріалів «розповсюджується» не у просторі, а у площині, таке ніби то «розтікання» вимагає значно менших зусиль для вертикального переміщення значних мас. Отже, завеликі витрати труда при виконанні робіт із улаштування ростверків, панелей перекриття чи підготовок під устаткування вимагають більшої уваги

контролюючих працівників на предмет точного виконання робітниками всіх операцій, передбачених технологічними картами. Адже існує помітна імовірність того, що роботи будуть виконаними із деяким порушенням вимог через перевтому робітників. Згідно обчислень кожна додаткова тонна укладених в діло будівельних матеріалів дає змогу вивільнити 0,124 людино-години трудозатрат, однак такий висновок досить умовний в силу невисокої статистичної значимості t-критерію коефіцієнта регресії (табл. 2.3). У загальному вимірі можна було б стверджувати що варіація маси необхідних будівельних матеріалів в розмірі 1 стандартного відхилення від середньої потреби за сукупністю норм «площинної підгрупи» спричиняє скорочення трудовитрат на 0,17 сигм від середньої трудомісткості у підгрупі. Попри умовність такої емпіричної формули, вона може бути достовірною тільки у 40 подібних вибірках із 100, а у решті 60 бути помилковою, цей факт не варто лишати осторонь у разі проєктування нових технологій укладання бетонних розчинів чи сумішей. Використання нових більш важких, чи легких будівельних матеріалів у «площинні» конструкцій буде позначатись на затратах праці, причому напрям змін останніх протилежний змінами матеріалів, проте точніші параметри такої залежності варто уточнити за допомогою вивчення експериментальних даних. Проте, у подальшому ми пропонуємо інструментарій цифровізації контролю витрат труда робітників-будівельників і особливості даної моделі, попри невисоку значимість, ним буде враховано.

Для решти залізобетонних робіт моделі табл. 2.3. підтверджують апріорну пряму залежність: більша маса укладених будівельних матеріалів провокує більші витрати труда. Найбільшою ця пропорція буде для «об'ємних» конструкцій та в цілому по монолітних залізобетонних роботах: ≈ 2 люд.-год на кожну тонну укладених в діло будівельних матеріалів (відповідно табл. 2.3. 2,11±0,103 по всіх монолітних роботах й 2,06±0,132). По допоміжних роботах, серед яких і приготування розчинів, бетонів, улаштування швів, виявлено майже однозначну відповідність: на кожну тонну

застосованих будівельних матеріалів доведеться забезпечити витрати праці в розмірі, близькому до 1 люд.-год. (точніше 0,97±0,056). Нарешті, для арматурних робіт витрати часу на виконання відстають від часи металу й супутніх матеріалів, тут кожна тонна вимагатиме роботи в обсязі, близькому до 0,6 люд. год. (у табл. 2.3 0,59±0,17). Зазначені показники вельми умовні й заокруглені, отже у прикладних розрахунках і цифрових застосунках, розроблених для їх здійснення коректно буде застосовувати інтервальні оцінки, замість точкових. Вказане стосується не тільки емпіричних коефіцієнтів пропорційності, але й внеску апріорних чинників, представлених у моделях (табл. 2.3) у вигляді вільних констант. Таким чином, вказані пропорції між трудовитратами та масою матеріалів доведеться додатково збільшити на апріорний розмір витрат часу робітників, який також враховуватиме виконання операцій із самоконтролю правильності виконання технологічних процесів. Для всіх робіт із монолітного з/бетону на 54,5±24,05 люд.-год. на відповідний вимірник, передбачений нормою, для «об'ємних» конструкцій – на 95,3±38,12 люд.-год. на кожні 100м^3, для «площинних» робіт на 21,17±11,4 люд.-год. на кожні 100м^2, для арматурних робіт доведеться врахувати потребу у додаткових 24,0±10,3 люд.-год. на кожну тонну металу, що укладається, а для решти робіт апріорні витрати праці перебувають у порівняно вузьких межах – тільки 3,68±1,21 люд.-год. на відповідний вимірник. Як свідчать розрахунки (табл. 2.3), найбільш «вузький» надійний інтервал мають коефіцієнти у рівнянні для інших робіт зі збірника кошторисних норм на монолітні конструкції, що напряму визначається статистичною значимістю коефіцієнтів рівнянь за t-критерієм. Проте, під час розроблення цифровізованого інструментарію для всіх досліджуваних будівельних робіт буде обґрунтовано спосіб уточнення довірчих інтервалі у напрямку звуження. Аналогічним чином можна проаналізувати і пропорції волатильності трудовитрат у стандартизованому вимірнику. Специфіка побудови стандартизованих регресій полягає в тому, що вони не містять вільної константи, відповідно до табл. 2.3 витрати праці робітників відстають

від динаміки маси будівельних матеріалів, причому найменшим відставання виявляється для решти монолітних з/бетонних робіт – майже 0,8 стандартних відхилень зміни трудозатрат у відповідь на 1 сигму мінливості маси витрачених будівельних матеріалів, для об'ємних конструкцій коливання витрат праці будуть слабшими – біля 0,7 сигм, укладання арматури супроводжується мінливістю затрат праці робітників дещо меншою за 0,5 сигми на кожне стандартне відхилення тоннажу потреби у будівельних матеріалах. Межі надійного інтервалу для кількості сигм характеризуються тими ж пропорціями, що й коефіцієнти лінійних регресійних формул, оскільки також детермінуються t-критеріями факторів моделей.

Згідно обчислень усі отримані залежності для обґрунтування витрат труда мають досить високу стандартну помилку апроксимації (табл. 2.3), для кожного виду робіт помилка теоретичних значень по вибірці виявляється вищою за середнє значення, досягаючи максимуму для «площинних» робіт – 177% середнього (=33,217/18,96•100%). В цілому по вибірці таке співвідношення дещо менше – 166% (=425,74/256,39•100%). Навіть моделі із мінімальним співвідношенням залишків та середніх вибіркових не можливо визнати як високоточні, оскільки перевищення стандартної помилки виявилось більшим за третину середнього значення, а саме: «об'ємні» з/бетонні конструкції –137% (=522,5/382,75•100%), різні роботи – 133% (=10,75/8•100%). Цю обставину нами було враховано під час розробки цифровізованого інструментарію контролю параметрів будівельних робіт у такий спосіб, що параметри регресійної лінійної залежності буде трансформовано до нечітких чисел, а результати обчислень визначатимуть інтервальну оцінку сподіваних значень.

Проведене економіко-математичне моделювання параметрів бетонних і залізобетонних робіт дозволило встановити характер статистичних взаємозв'язків між трудовими, матеріальними, організаційними та технологічними характеристиками будівельного виробництва, а також визначити чинники, які найбільшою мірою впливають на трудомісткість

виконання робіт. Аналіз кореляційних матриць показав, що переважна більшість характеристик будівельних процесів не перебуває у жорсткому функціональному чи наближеному до функціонального зв’язку. Середнє значення коефіцієнтів кореляції для монолітних залізобетонних робіт становить лише 0,262, що свідчить про значну складність та багатофакторність процесів будівельного виробництва. Лише близько 40% кореляційних зв’язків виявилися статистично значущими, а абсолютна більшість коефіцієнтів кореляції не досягала порогового рівня 0,6, який дає підстави говорити про наявність вираженої лінійної залежності.

Разом з тим встановлено окремі стійкі закономірності, які можуть бути використані для моніторингу параметрів будівництва. Найбільш вагомим виявився зв’язок між трудомісткістю робіт та масою будівельних матеріалів. Для всієї сукупності монолітних залізобетонних робіт коефіцієнт кореляції між цими показниками становить 0,7283, для робіт із об’ємним вимірником – 0,7076, а для допоміжних залізобетонних робіт досягає 0,8951. Така залежність підтверджує, що саме маса використаних матеріальних ресурсів є одним із головних факторів формування потреби у трудових ресурсах. Одночасно виявлено обернений зв’язок між середнім розрядом складності робіт та кількістю технологічних операцій для площинних конструкцій, що свідчить про наявність певної компенсації між кваліфікацією виконавців і складністю організації виробничих процесів.

Результати регресійного аналізу дозволили встановити, що найбільш доцільним для практичного застосування є використання однофакторних моделей трудомісткості, у яких пояснювальною змінною виступає маса будівельних матеріалів. Незважаючи на простоту таких моделей, вони забезпечують прийнятний рівень достовірності апроксимації та характеризуються високими значеннями критерію Фішера. Для всієї сукупності монолітних залізобетонних робіт коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,530$, тобто понад половина варіації трудовитрат пояснюється зміною маси матеріалів, необхідних для виконання робіт. Аналогічний рівень

пояснювальної здатності отримано для об’ємних конструкцій ($R^2 = 0,501$), тоді як для допоміжних залізобетонних робіт достовірність апроксимації виявилася особливо високою і досягла $R^2 = 0,801$.

Установлено, що для більшості досліджуваних видів робіт характерна пряма залежність між масою матеріалів та трудомісткістю. Для монолітних залізобетонних конструкцій у середньому кожна додаткова тонна матеріальних ресурсів потребує близько 2 люд.-год. праці, для допоміжних робіт цей показник становить приблизно 1 люд.-год. на тонну матеріалів, а для арматурних робіт – близько 0,6 люд.-год. на тонну. Водночас для площинних конструкцій отримано від’ємний коефіцієнт нахилу регресійної прямої, однак через низьку статистичну значущість та обмеженість вибірки дана закономірність має переважно гіпотетичний характер і потребує подальшої перевірки на основі розширених емпіричних даних.

Важливим результатом дослідження стало встановлення того факту, що навіть найбільш достовірні моделі не пояснюють повної мінливості трудових витрат. Для загальної вибірки близько 47% варіації трудомісткості зумовлено чинниками, які не враховані в регресійних залежностях. До них належать особливості організації будівельного майданчика, природно-кліматичні умови, кваліфікаційний рівень виконавців, їх професійний досвід, режим виконання робіт, обмеження виробничого середовища та інші фактори. Це підтверджує неможливість повного опису параметрів будівництва за допомогою детермінованих математичних моделей та необхідність застосування підходів, здатних працювати в умовах невизначеності.

Особливу увагу слід звернути на значні величини стандартних помилок апроксимації, які для всіх побудованих моделей перевищують середні значення досліджуваних показників. Такий результат свідчить про високий рівень варіативності трудових витрат навіть за однакових характеристик матеріальних ресурсів і підтверджує, що практичні процеси будівництва характеризуються суттєвою невизначеністю. Саме тому використання точкових прогнозних оцінок для контролю параметрів виконання будівельних

робіт є недостатнім та може призводити до помилкових управлінських висновків.

Проведене економіко-математичне моделювання дозволило ідентифікувати масу будівельних матеріалів як головний фактор формування трудомісткості бетонних і залізобетонних робіт та обґрунтувати доцільність використання лінійних регресійних залежностей для цифрового моніторингу виробничих процесів. Водночас значна невизначеність емпіричних даних, неповна пояснювальна здатність регресійних моделей та високі показники залишкової варіації засвідчили необхідність переходу від точкових до інтервальних оцінок прогнозованих параметрів.

2.3. Аналіз готовності до впровадження цифрового інструментарію та оцінювання цифрової зрілості учасників інвестиційно-будівельних проєктів

В умовах цифрової трансформації економіки та зростання ролі інформаційних технологій у забезпеченні ефективності виробничих процесів особливої гостроти набуває питання готовності учасників будівництва до впровадження цифрових технологій.

Питання управління розвитком підприємств в умовах цифровізації економіки наразі перебувають у центрі уваги наукових досліджень, проте кількість праць, які комплексно розглядають це питання залишається обмеженою. Так, колектив авторів під керівництвом Н. Подольчака зазначає, що в Україні сформовано передумови для розвитку інфраструктури цифрової економіки, однак існує низка технологічних бар’єрів, які стримують доступність сучасних засобів комунікації. У зв’язку з цим дослідники акцентують увагу на необхідності формування державної економічної політики, орієнтованої на підвищення продуктивності шляхом активізації інноваційних процесів [148].

О.М. Ястремська та О.О. Ястремська розглядають управління розвитком підприємства як цілеспрямований процес забезпечення позитивних змін у

його функціонуванні під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів. Метою такого процесу є реалізація місії підприємства через підвищення рівня його розвитку у всіх сферах діяльності, зокрема економічній, соціальній та екологічній, із дотриманням принципів збалансованості та стійкості [149].

На думку Н. Коваленко, основним завданням управління розвитком підприємств у сучасних економічних умовах є забезпечення їхньої довгострокової прибутковості та конкурентоспроможності. До ключових орієнтирів такого управління належать зміцнення ринкових позицій, формування позитивної репутації серед контрагентів, задоволення потреб споживачів, а також підвищення якості та екологічності продукції [150].

О. Пащенко підкреслює, що досягнення стратегічних цілей розвитку підприємства забезпечується через реалізацію комплексу управлінських функцій. Серед них визначальними є прогнозування та планування, які передбачають формування цілей, завдань і засобів їх досягнення; організація та координація процесів виконання прийнятих рішень; стимулювання й мотивація персоналу; моніторинг, що охоплює систематичний контроль, аналіз результатів діяльності та коригування напрямів розвитку відповідно до змін зовнішнього і внутрішнього середовища [151, с. 102].

Особливого значення в сучасних умовах набувають аспекти цифрової трансформації підприємств. Колектив авторів під керівництвом І. Токмакової наголошує, що розроблення стратегічних напрямів розвитку бізнесу в умовах цифрової трансформації потребує вирішення низки технологічних завдань. Насамперед ідеться про прискорення та оптимізацію бізнес-процесів на основі впровадження цифрової інфраструктури, засобів автоматизації та віртуалізації. Важливим завданням є також забезпечення прозорості та прогнозованості процесів за рахунок використання децентралізованих аналітичних інструментів і технологій Інтернету речей. Окрему увагу дослідники приділяють підвищенню продуктивності праці, покращенню якості продукції та ефективності використання ресурсів при одночасному зниженні виробничих витрат і мінімізації простоїв обладнання. При цьому

наголошується, що інформаційна безпека є невід'ємною складовою будь-якого процесу цифрової трансформації, оскільки недостатній рівень захисту інформації може нівелювати отримані переваги [152, с. 289].

І. Хвостіна зазначає, що ефективне управління розвитком підприємств потребує застосування сучасних управлінських концепцій, заснованих на процесному, системному, ситуаційному, синергетичному та кумулятивному підходах. Їх використання сприяє підвищенню адаптивності підприємств до динамічних змін зовнішнього середовища та забезпечує формування передумов для сталого розвитку [154, с. 33].

Розвиток підприємства являє собою безперервний та необоротний процес переходу від одного стану функціонування до іншого під впливом змін у внутрішньому та зовнішньому середовищі. Кожен стан підприємства характеризується унікальним поєднанням факторів, що визначають його кількісні та якісні параметри. У свою чергу, управління розвитком підприємства слід розглядати як комплексну систему організаційно-економічних заходів, спрямованих на забезпечення якісних змін і реалізацію основних управлінських функцій.

Концепція розвитку підприємства базується на цілеспрямованому накопиченні та використанні знань, залученні інвестиційних ресурсів, розвитку партнерських відносин, удосконаленні кадрового потенціалу та створенні умов для підвищення конкурентоспроможності в умовах глобальної економіки [155–157]. Основною метою такого розвитку є забезпечення позитивних соціально-економічних змін шляхом стимулювання господарської активності та підвищення ефективності функціонування підприємства.

Орієнтація на стратегічні імперативи управління розвитком підприємства передбачає реалізацію взаємопов'язаного комплексу політик, програм і управлінських рішень, спрямованих на формування та нарощування потенціалу підприємства у довгостроковій перспективі. Такий підхід забезпечує досягнення стратегічних цілей розвитку з урахуванням наявних

ресурсних можливостей та умов функціонування суб'єкта господарювання [26].

Таким чином, дослідження готовності учасників будівництва до впровадження цифрових технологій є важливим науково-практичним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню ефективності цифрової трансформації будівельної галузі, забезпеченню сталого розвитку підприємств та створенню передумов для формування сучасної цифрової екосистеми управління інвестиційно-будівельними проєктами.

Одним із найбільш репрезентативних індикаторів оцінювання цифрового розвитку країни є **Індекс світової цифрової конкурентоспроможності (World Digital Competitiveness Ranking, WDCR)**, який щорічно формується Центром світової конкурентоспроможності IMD [158]. Зазначений рейтинг відображає спроможність економіки впроваджувати та ефективно використовувати цифрові технології для забезпечення економічної та соціальної трансформації. Аналіз динаміки цього індексу дає можливість оцінити передумови цифрового розвитку підприємств, рівень їх адаптації до цифрових змін та перспективи підвищення конкурентоспроможності в умовах цифрової економіки.

Дослідження попередніх періодів свідчить, що у 2021 році позиції України в рейтингу цифрової конкурентоспроможності погіршилися порівняно з початком аналізованого періоду (табл. 2.4).

Однією з ключових причин такої динаміки стали негативні економічні наслідки пандемії COVID-19, які вплинули на інвестиційну активність, продуктивність бізнесу та темпи впровадження цифрових інновацій. Аналогічну тенденцію демонстрував і показник «business agility», що характеризує здатність підприємств оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища та інтегрувати нові цифрові рішення в управлінську практику.

Таблиця 2.4

Позиція України в міжнародному рейтингу цифрової конкурентоспроможності

Індикатори	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Загальний індекс (місце у рейтингу)	60	58	60	58	54	н/д*
Показник ділової спритності (місце у рейтингу)	56	53	45	51	45	н/д*

** Україна була виключена з рейтингу IMD World Digital Competitiveness Ranking 2022 через недостатню надійність вихідних даних.*

Джерело: [158]

Водночас після початку повномасштабної військової агресії російської федерації у 2022 році оцінювання України в межах рейтингу IMD було ускладнене через обмежену надійність статистичних даних та суттєві зміни економічного середовища. Саме тому Україна у 2022 році не була включена до підсумкового рейтингу цифрової конкурентоспроможності IMD WDCR 2022 через обмежену надійність статистичних даних після початку повномасштабної війни [159].

Разом із тим період 2022-2026 рр. характеризується значним прогресом України у сфері цифрової трансформації державного управління та бізнесу, зокрема у будівельній сфері також. Незважаючи на складні воєнні умови, було забезпечено подальший розвиток екосистеми електронних послуг «Дія», цифрових сервісів для громадян і суб'єктів господарювання, систем електронного документообігу, хмарної інфраструктури та кібербезпеки. Особливого значення набуло впровадження технологій електронної ідентифікації, цифрових реєстрів, засобів дистанційної взаємодії та платформ електронної комерції, що сприяло підтримці безперервності бізнес-процесів навіть в умовах війни.

За оцінками міжнародних експертів, Україна зберігає середній рівень цифрової конкурентоспроможності, демонструючи при цьому значний потенціал розвитку людського капіталу, цифрового урядування та інноваційного підприємництва [160]. Водночас основними стримувальними

факторами залишаються недостатній рівень інвестицій у цифрову інфраструктуру, нерівномірність цифрової зрілості підприємств різних галузей, дефіцит висококваліфікованих ІТ-фахівців та зростання кіберзагроз. [161]

Водночас слід відзначити суттєвий прогрес України у сфері цифрової трансформації державного управління, що підтверджується результатами міжнародних рейтингів. Зокрема, за даними GovTech Maturity Index (GTMI) 2024, оприлюдненими Світовим банком, Україна увійшла до групи А, яка об’єднує країни з найвищим рівнем зрілості цифрового урядування та ефективності впровадження цифрових технологій у державному секторі [162, 163].

Високі позиції України стали результатом послідовної реалізації державної політики цифровізації, розвитку екосистеми електронного урядування та впровадження цифрових сервісів на базі платформи «Дія» . Попри складні умови воєнного стану, в Україні продовжувалося розширення спектра цифрових послуг, удосконалення цифрової ідентифікації громадян, інтеграція державних реєстрів та впровадження інструментів електронної демократії. Важливим досягненням стало забезпечення безперервності надання адміністративних послуг, підтримка цифрової взаємодії між державними органами та бізнесом, а також розвиток цифрової інфраструктури, необхідної для післявоєнного відновлення економіки [164].

Досягнуті результати засвідчують, що цифровізація в Україні перетворилася не лише на інструмент модернізації державного сектору, а й на важливий чинник підвищення конкурентоспроможності національної економіки та стійкості суспільства до зовнішніх викликів. Успішне впровадження цифрових технологій у сфері державного управління створює додаткові можливості для прискорення цифрової трансформації підприємств, розвитку інноваційної діяльності та формування сприятливого середовища для залучення інвестицій [165].

Таблиця 2.5 характеризує рівень цифровізації підприємств України у

2018-2022 рр. через показники доступу до мережі Інтернет, використання соціальних медіа та послуг хмарних обчислень.

Таблиця 2.5

Фактори цифрової зрілості підприємств в Україні в умовах цифровізації

Показники	2018	2019	2021	2022
Кількість підприємств, які мають доступ до мережі Інтернет, од.	43303	43785	44508	42785
у % до загальної кількості підприємств	88,0	86,4	86,6	85,1
У тому числі за кількістю зайнятих працівників				
від 10 до 49 осіб	32910	33169	33682	32402
від 50 до 249 осіб	8247	8444	8628	8267
250 осіб і більше	2146	2172	2198	2116
Частка кількості підприємств, що використовують соціальні медіа, у загальній кількості підприємств, %	29,7	30,1	–	29,1
У тому числі за кількістю зайнятих працівників				
від 10 до 49 осіб	26,9	27,1	–	26,6
від 50 до 249 осіб	36,2	37,7	–	36,0
250 осіб і більше	51,3	52,8	–	51,5
Частка кількості підприємств, що купують послуги хмарних обчислень, у загальній кількості підприємств, %	9,8	10,3	10,2	9,8
У тому числі за кількістю зайнятих працівників				
від 10 до 49 осіб	8,6	8,9	9,0	8,7
від 50 до 249 осіб	12,4	13,4	13,9	12,8
250 осіб і більше	19,6	21,5	22,2	19,6

Джерело: сформовано автором на основі даних Державної служби статистики України [166]

Аналіз даних свідчить, що переважна більшість підприємств мали доступ до Інтернету, причому їх частка перевищувала 85 % від загальної кількості підприємств. Найбільшу групу становили малі підприємства з чисельністю працівників від 10 до 49 осіб. Соціальні медіа використовували близько третини підприємств, а рівень їх використання зростав зі збільшенням розміру підприємства: найвищі показники спостерігалися серед підприємств із чисельністю працівників понад 250 осіб. Подібна тенденція характерна і для використання послуг хмарних обчислень, частка яких була порівняно невисокою, але значно вищою на великих підприємствах порівняно з малими. У 2022 році, в умовах воєнного стану, спостерігалося певне скорочення

більшості показників, проте загалом дані засвідчують поступове впровадження цифрових технологій у діяльність українських підприємств та зростання ролі цифрових інструментів у забезпеченні їх конкурентоспроможності [168].

На основі наведених у табл. 2.5 статистичних показників доцільно сформувати систему факторів цифрової зрілості учасників інвестиційно-будівельних проєктів, які характеризують базовий рівень цифрової готовності підприємства до використання сучасного цифрового інструментарію, а також використання сучасних цифрових платформ, готовності персоналу до трансформації тощо (табл. 2.6).

Запропонована система охоплює технічні, організаційні, кадрові та управлінські аспекти цифрової трансформації, що дозволяє комплексно оцінити рівень готовності суб'єктів будівництва до роботи в цифровому середовищі. До базових факторів належать рівень впровадження BIM-технологій, цифрові компетентності персоналу, автоматизація бізнес-процесів, інтеграція та управління даними, цифрова комунікація і цифрова інфраструктура. Водночас важливими складовими цифрової зрілості визначено кібербезпеку, цифрове управління ризиками, використання технологій Industry 4.0, управлінську підтримку цифровізації, інноваційну активність та цифрову культуру організації. Сукупність наведених факторів формує методичну основу для комплексного оцінювання рівня цифрової зрілості учасників інвестиційно-будівельних проєктів, визначення пріоритетних напрямів цифрового розвитку та обґрунтування управлінських рішень щодо підвищення ефективності реалізації будівельних проєктів.

Виявлені тенденції цифрової трансформації економіки та нові можливості, що відкриваються для суб’єктів господарювання, підтверджують необхідність формування сучасної системи управління розвитком підприємства, здатної забезпечити його довгострокову конкурентоспроможність і стійкість до зовнішніх викликів. У сучасних умовах цифровізація перестала бути виключно технологічним явищем і

трансформувалася у стратегічний чинник економічного розвитку, який визначає ефективність функціонування підприємств, їхню інноваційну активність і здатність адаптуватися до змін бізнес-середовища

Таблиця 2.6

Фактори оцінювання цифрової зрілості учасників будівельного проєкту

№	Фактор зрілості	Зміст фактору	Основні показники оцінювання
1	Рівень впровадження BIM-технологій	Ступінь використання BIM на всіх етапах життєвого циклу об'єкта будівництва	Наявність BIM-моделей, рівень деталізації (LOD), частка проєктів із BIM, інтеграція BIM із системами управління
2	Цифрові компетентності персоналу	Рівень володіння працівниками цифровими інструментами та технологіями	Частка персоналу з цифровими навичками, проходження навчання, наявність BIM- та IT-сертифікатів
3	Автоматизація бізнес-процесів	Використання цифрових систем для управління виробничими та управлінськими процесами	ERP, CRM, PPM-системи, електронний документообіг, рівень автоматизації процесів
4	Інтеграція та управління даними	Ступінь об'єднання інформаційних потоків між учасниками будівництва	Єдине середовище даних (CDE), інтеграція програмних продуктів, оперативність обміну інформацією
5	Цифрова комунікація та колаборація	Рівень використання цифрових платформ взаємодії учасників проєкту	Хмарні сервіси, платформи спільної роботи, системи управління завданнями
6	Кібербезпека	Захищеність інформаційних ресурсів та цифрової інфраструктури	Політика безпеки, резервне копіювання, захист даних, управління доступом
7	Цифрове управління ризиками	Використання цифрових інструментів для ідентифікації та моніторингу ризиків	Автоматизовані системи оцінювання ризиків, цифрові реєстри ризиків, аналітичні панелі
8	Використання технологій Industry 4.0	Ступінь впровадження сучасних цифрових технологій у будівництві	IoT, Big Data, AI, цифрові двійники, машинне навчання
9	Управлінська підтримка цифровізації	Рівень стратегічної орієнтації керівництва на цифрову трансформацію	Наявність цифрової стратегії, цифрових KPI, інвестицій у цифровізацію
10	Цифрова інфраструктура	Забезпеченість технічними та програмними засобами цифровізації	Сервери, хмарні рішення, швидкість доступу до даних, ліцензійне ПЗ
11	Інноваційна активність	Спроможність впроваджувати нові цифрові рішення та технології	Частка інвестицій в інновації, кількість цифрових проєктів, пілотні впровадження
12	Цифрова культура організації	Готовність персоналу до цифрових змін та інновацій	Відкритість до змін, використання цифрових інструментів, рівень цифрового лідерства

Джерело: сформовано автором

Цифровізація створює передумови для якісного вдосконалення бізнес-

процесів, підвищення швидкості прийняття управлінських рішень, покращення внутрішньої та зовнішньої комунікації, а також забезпечує нові можливості для формування партнерських відносин і розвитку бізнес-екосистем. Використання сучасних цифрових технологій, зокрема хмарних сервісів, великих даних (Big Data), штучного інтелекту, Інтернету речей та цифрових платформ, сприяє оптимізації ресурсного забезпечення, скороченню операційних витрат і підвищенню ефективності діяльності підприємств [170].

У цьому контексті цифрова трансформація виступає ключовою складовою управління розвитком підприємства. Її сутність полягає в інтеграції цифрових технологій у всі сфери господарської діяльності, що призводить до фундаментальних змін у підходах до створення цінності для споживачів, організації бізнес-процесів та побудови конкурентних переваг. Ефективно реалізована стратегія цифрової трансформації забезпечує підвищення продуктивності праці, удосконалення клієнтоорієнтованості, прискорення інноваційних процесів та покращення якості управлінських рішень [171].

Імперативи управління розвитком підприємства формуються під впливом комплексу взаємопов’язаних факторів, серед яких особливе значення мають рівень технологічного розвитку виробництва, ступінь автоматизації бізнес-процесів, ефективність використання економічних ресурсів, розвиток людського капіталу, масштаби впровадження інновацій та результати науково-технічного прогресу. Водночас визначальним чинником успішного розвитку виступає не окремий ресурс чи технологія, а рівень їх інтеграції в єдину систему управління підприємством.

Теоретичні засади управління розвитком підприємства ґрунтуються на принципах системності, структурованості, адаптивності та безперервності вдосконалення бізнес-процесів. Реалізація зазначених принципів передбачає оцінювання поточного стану підприємства, визначення цільових орієнтирів розвитку, формування механізмів досягнення поставлених цілей та контроль результативності впроваджених змін. Дотримання таких принципів забезпечує узгодженість процесів цифрової трансформації із загальною стратегією

розвитку підприємства [172].

Сучасне управління розвитком підприємства базується на комплексній оцінці поточного рівня функціонування, визначенні стратегічних цілей, виборі напрямів розвитку та інструментів їх реалізації, а також постійному моніторингу досягнутих результатів. У цьому аспекті особливого значення набуває категорія цифрової стійкості підприємства, яку доцільно розглядати як одну з ключових складових його конкурентоспроможності.

Під цифровою стійкістю підприємства слід розуміти здатність організації забезпечувати безперервність функціонування, адаптуватися до змін зовнішнього середовища та підтримувати довгостроковий розвиток завдяки ефективному використанню цифрових технологій, даних і цифрових платформ. Цифрова стійкість формує передумови для швидкого реагування на кризові ситуації, підвищення операційної ефективності, удосконалення системи управління ризиками та забезпечення інформаційної безпеки [174]. Водночас цифровізація створює можливості для формування нових бізнес-моделей, заснованих на обробці даних, цифрових сервісах і мережевій взаємодії учасників ринку .

Розвиток підприємства в умовах цифровізації економіки доцільно розглядати як комплексний процес інтеграції цифрових технологій у виробничу, управлінську та комунікаційну діяльність з метою формування доданої вартості для споживачів і забезпечення конкурентних переваг. Такий розвиток охоплює не лише технологічні зміни, але й трансформацію організаційної культури, управлінських підходів, компетентностей персоналу та механізмів взаємодії із зовнішнім середовищем [175].

Для будівельних підприємств доцільно використати методичний інструментарій SWOT-аналізу, оскільки саме вони є центральною ланкою будівництва, тому на відміну від девелоперів, для підрядників цифровізація має більш прикладний характер і безпосередньо впливає на оперативне управління виробничими процесами, трудовими ресурсами, будівельною

технікою, логістикою, якістю виконання робіт та дотриманням календарних графіків.

Разом із тим процес цифрової трансформації підрядних підприємств супроводжується рядом організаційних, технологічних та економічних проблем, що обумовлює необхідність розширеного аналізу їх сильних і слабких сторін, можливостей і загроз (табл. 2.7- 2.8).

Таблиця 2.7

Сильні і слабкі сторони готовності українських підрядних підприємств до впровадження цифровізації

Сильні сторони	Слабкі сторони
Освоєння сучасних цифрових методів управління будівельними проєктами	Недостатній рівень впровадження BIM-технологій у виробничі процеси
Інтеграція інноваційних технологій у процеси планування та контролю будівництва	Відсутність сформованої цифрової стратегії розвитку підприємства
Підвищення точності календарного та ресурсного планування	Нестача кваліфікованих фахівців у сфері цифрового будівництва
Можливість оперативного контролю виконання робіт у режимі реального часу	Опір персоналу впровадженню нових технологій та зміні традиційних бізнес-процесів
Скорочення кількості помилок і переробок завдяки цифровій координації робіт	Недостатня інтеграція між інформаційними системами підприємства
Зростання продуктивності праці управлінського та виробничого персоналу	Обмежені фінансові ресурси для масштабної цифрової модернізації
Використання цифрового документообігу та автоматизації погоджувальних процедур	Значні витрати на навчання працівників та підтримку цифрової інфраструктури
Централізоване управління даними щодо ресурсів, техніки та трудових потоків	Залежність від постачальників програмного забезпечення та цифрових сервісів
Зменшення ризику втрати інформації та дублювання робіт	Недостатній рівень стандартизації цифрових процесів
Підвищення прозорості управління субпідрядними організаціями	Наявність застарілого програмного та технічного забезпечення
Можливість автоматизованого контролю якості та обсягів будівельних робіт	Фрагментарне використання цифрових рішень окремими підрозділами
Підвищення ефективності управління будівельною технікою та матеріальними ресурсами	Низька готовність окремих субпідрядників до цифрової взаємодії

Джерело: сформовано автором

Для підрядних підприємств цифровізація виступає не лише технологічним інструментом удосконалення окремих виробничих процесів, а й важливою передумовою підвищення ефективності управління будівництвом у цілому.

Таблиця 2.8

Можливості і загрози переходу українських підрядних підприємств до впровадження цифровізації

Можливості	Загрози
Використання передових будівельних технологій та цифрових виробничих платформ	Посилення конкуренції з боку технологічно більш розвинених компаній
Розширення практики застосування BIM протягом усього життєвого циклу проєкту	Зростання ризиків кіберзагроз та несанкціонованого доступу до даних
Створення єдиного інформаційного середовища для всіх учасників будівництва	Висока швидкість морального старіння цифрових технологій
Використання платформ цифрової співпраці між генпідрядником та субпідрядниками	Необхідність постійних інвестицій у модернізацію програмного забезпечення
Автоматизація контролю будівельних процесів та використання ресурсів	Залежність від зовнішніх IT-платформ та хмарних сервісів
Впровадження штучного інтелекту для прогнозування відхилень і ризиків	Дефіцит висококваліфікованих цифрових кадрів на ринку праці
Використання технологій Інтернету речей (IoT) для моніторингу будівельних майданчиків	Порушення роботи цифрової інфраструктури через технічні або воєнні фактори
Застосування цифрових двійників для контролю стану об'єктів будівництва	Зростання витрат на кібербезпеку та захист інформації
Участь у міжнародних проєктах, які передбачають обов'язкове використання BIM	Ризики помилок внаслідок неякісних або неповних цифрових даних
Підвищення інвестиційної привабливості завдяки прозорості управління проєктами	Складність адаптації законодавства до нових цифрових технологій
Оптимізація логістики постачання матеріалів і будівельної техніки	Можливі затримки будівництва через збої цифрових систем управління
Скорочення непродуктивних витрат та підвищення рентабельності проєктів	Перевищення планових витрат на цифрову трансформацію
Розширення можливостей дистанційного контролю будівництва	Нерівномірна цифрова готовність учасників будівельного процесу
Участь у програмах цифрової відбудови інфраструктури України	Посилення вимог замовників щодо цифрових компетенцій виконавців

Джерело: сформовано автором

Результати SWOT-аналізу готовності українських генпідрядних підприємств до впровадження цифрових технологій свідчать про наявність значного потенціалу для цифрової трансформації будівельної діяльності, водночас виявляючи низку внутрішніх обмежень і зовнішніх викликів, які можуть впливати на результативність відповідних процесів. Отримані результати підтверджують, що генеральні підрядні організації виступають ключовими суб'єктами цифрових змін у будівництві, оскільки вони забезпечують координацію значної кількості учасників проєкту, організовують виконання будівельно-монтажних робіт, здійснюють

управління ресурсами та відповідають за досягнення цільових показників вартості, якості та термінів реалізації проєктів.

Для субпідрядних підприємств вплив цифровізації має власну специфіку, яка суттєво відрізняється від особливостей цифрової трансформації генпідрядних організацій. Якщо генпідрядник виконує функції загальної координації проєкту, планування та контролю виконання робіт, то субпідрядники здійснюють виконання вузькоспеціалізованих будівельно-монтажних, інженерних, електротехнічних, опоряджувальних та інших видів робіт. Саме тому рівень їхньої готовності до впровадження цифрових технологій визначається не лише внутрішніми ресурсними можливостями, але й ступенем інтегрованості до цифрових платформ генерального підрядника та девелопера.

У сучасних умовах цифровізації будівельної галузі субпідрядні організації поступово переходять від традиційних моделей взаємодії до використання BIM-технологій, цифрових систем управління виробництвом, мобільних додатків для контролю робіт, електронного документообігу та хмарних платформ обміну даними. Водночас значна частина субпідрядних підприємств представлена середнім та малим бізнесом, що обумовлює додаткові обмеження щодо фінансування цифрової трансформації, залучення відповідних фахівців та модернізації виробничих процесів.

Проведений аналіз дозволив встановити, що до найбільш вагомих сильних сторін підрядних підприємств належать можливості освоєння сучасних цифрових методів управління і організації будівництва та інтеграції інноваційних технологій у виробничі й управлінські процеси. Впровадження цифрових платформ управління будівництвом, BIM-технологій, автоматизованих систем контролю виконання робіт та цифрового документообігу створює передумови для підвищення точності планування ресурсів, зростання продуктивності праці та вдосконалення механізмів координації між усіма учасниками будівництва. Особливого значення набуває можливість здійснення оперативного моніторингу виконання робіт у режимі

реального часу, що сприяє своєчасному виявленню відхилень від календарних графіків і бюджетних показників. Крім того, централізація інформаційних потоків забезпечує формування єдиного цифрового середовища управління проєктом, підвищує прозорість прийняття рішень і дозволяє мінімізувати ризики дублювання інформації та виникнення помилок під час виконання будівельних робіт.

Разом із тим SWOT-аналіз показав наявність суттєвих слабких сторін, які стримують темпи цифровізації підрядних організацій. Насамперед йдеться про недостатній рівень інтеграції BIM-технологій у виробничі процеси, відсутність комплексних цифрових стратегій розвитку підприємств та обмежений рівень цифрових компетенцій персоналу. Значною проблемою також залишається психологічний і організаційний опір змінам, який спостерігається як серед управлінського персоналу, так і серед виконавців будівельних робіт. Додатковими обмеженнями виступають значні інвестиційні витрати, необхідні для впровадження сучасного програмного забезпечення, модернізації технічної інфраструктури та підготовки фахівців. В умовах високої капіталомісткості будівельного виробництва навіть економічно ефективні цифрові рішення не завжди можуть бути оперативно реалізовані через фінансові обмеження підприємств.

Аналіз зовнішнього середовища показав, що процес цифровізації відкриває для підрядних організацій значні можливості для підвищення конкурентоспроможності та ефективності господарської діяльності. Насамперед це стосується розширення практики застосування BIM-технологій протягом усього життєвого циклу об'єкта будівництва, створення єдиного інформаційного простору для всіх учасників проєкту та використання технологій штучного інтелекту для прогнозування виробничих і фінансових ризиків. Важливими перспективами також є впровадження технологій Інтернету речей для моніторингу будівельних процесів, використання цифрових двійників об'єктів будівництва, автоматизація управління логістичними процесами та участь у програмах післявоєнного відновлення

інфраструктури України, реалізація яких передбачає широке використання сучасних цифрових інструментів. Крім того, цифровізація створює додаткові можливості для інтеграції українських будівельних компаній у міжнародний ринок будівельних послуг, де використання BIM та інших цифрових технологій поступово стає обов'язковою умовою участі у великих інвестиційних проєктах.

Поряд із можливостями були виявлені й суттєві загрози, які супроводжують процес цифрової трансформації підрядних підприємств. Однією з найбільш значущих загроз є посилення конкуренції з боку компаній, які вже успішно реалізували цифрову трансформацію та отримали переваги у швидкості виконання робіт, точності планування та якості управління проєктами. Додаткові ризики створюють кіберзагрози, можливість несанкціонованого доступу до корпоративних баз даних, втрати інформації та порушення функціонування цифрових платформ. Важливими факторами ризику також виступають швидке технологічне старіння програмних продуктів, необхідність постійного оновлення інформаційної інфраструктури, залежність від зовнішніх постачальників цифрових рішень та дефіцит кваліфікованих фахівців у сфері цифрового будівництва. Особливої актуальності для українських підприємств набувають ризики, пов'язані з воєнними діями, які можуть спричиняти збої у функціонуванні цифрової інфраструктури та створювати додаткові загрози безпеці інформаційних систем.

Таким чином, результати SWOT-аналізу свідчать, що готовність підрядних підприємств до цифровізації визначається комплексною взаємодією внутрішніх ресурсних можливостей та зовнішніх чинників середовища функціонування. Незважаючи на наявні проблеми та ризики, цифрова трансформація відкриває широкі перспективи для підвищення ефективності управління будівництвом, скорочення витрат, покращення координації учасників проєктів та забезпечення стійких конкурентних переваг на ринку будівельних послуг. Отримані результати підтверджують доцільність

подальшого розвитку цифрових компетенцій, модернізації управлінських систем та формування стратегій цифрового розвитку як одного з ключових напрямів підвищення ефективності діяльності генпідрядних організацій у сучасних умовах розвитку будівельної галузі.

Проведений аналіз свідчить, що цифровізація для субпідрядних підприємств є не стільки інструментом внутрішнього вдосконалення діяльності, скільки умовою збереження та посилення їх ринкових позицій у новому цифровому середовищі будівельної галузі. Відмінною особливістю субпідрядників є їхня висока залежність від інформаційних потоків, технологічних стандартів і цифрових платформ, які формуються генеральним підрядником та девелопером. Саме тому ключовими напрямами підвищення готовності субпідрядних організацій до цифрової трансформації виступають розвиток BIM-компетенцій персоналу, стандартизація процесів цифрової взаємодії, інтеграція у єдині інформаційні середовища проєктів та формування власних цифрових стратегій розвитку. Це дозволить забезпечити більш ефективне виконання спеціалізованих робіт, підвищити конкурентоспроможність підприємств та створити передумови для їх сталого розвитку в умовах цифрової економіки.

Результати SWOT-аналізу готовності субпідрядних підприємств до впровадження цифрових технологій свідчать, що цифровізація поступово перетворюється з інструменту підвищення ефективності окремих виробничих процесів на необхідну умову забезпечення конкурентоспроможності та інтеграції субпідрядних організацій у сучасні інвестиційно-будівельні проєкти. На відміну від генеральних підрядників, які здійснюють загальну координацію процесу будівництва, субпідрядні підприємства зосереджені на виконанні спеціалізованих видів робіт, що зумовлює специфічні особливості їхньої цифрової трансформації та визначає характер сильних і слабких сторін, можливостей і загроз.

Проведений аналіз показав, що частина факторів цифровізації є спільною як для генеральних підрядників, так і для субпідрядних організацій.

Насамперед це стосується можливостей використання сучасних цифрових технологій управління будівельними процесами, застосування BIM-моделей, цифрового документообігу, автоматизованих систем планування ресурсів та контролю виконання робіт. Упровадження зазначених інструментів сприяє підвищенню продуктивності праці, покращенню якості виконання будівельних робіт, скороченню кількості помилок та забезпеченню своєчасного доступу до актуальної проєктної інформації. Важливою перевагою цифровізації є також формування єдиного інформаційного простору, який дозволяє підвищити прозорість взаємодії між учасниками будівельного проєкту та забезпечити ефективнішу координацію їх діяльності.

Разом із тим для субпідрядних підприємств характерними є й специфічні сильні сторони, які не властиві генеральним підрядникам. Зокрема, цифрові технології створюють додаткові можливості для підвищення точності виконання вузькоспеціалізованих робіт, автоматизації підготовки виконавчої документації, оперативного погодження технічних рішень із генеральним підрядником та дистанційного контролю виробничих процесів. Завдяки використанню цифрових платформ субпідрядні організації можуть швидше інтегруватися до інформаційного середовища проєкту, підвищувати якість координації робіт та зменшувати непродуктивні витрати, пов'язані з простоєм персоналу, техніки та матеріальних ресурсів.

Водночас дослідження виявило низку слабких сторін, які стримують процес цифрової трансформації субпідрядних підприємств. Серед факторів, спільних із генеральними підрядниками, слід виділити дефіцит фахівців із цифрових технологій, недостатній рівень BIM-компетенцій персоналу, високі витрати на впровадження сучасного програмного забезпечення та організаційний опір змінам. Однак для субпідрядних підприємств існують і специфічні обмеження. Насамперед це висока залежність від цифрової політики генерального підрядника та девелопера, обмежена можливість впливу на вибір цифрових платформ, відсутність власних спеціалізованих BIM-підрозділів і недостатність фінансових ресурсів для комплексної

цифрової модернізації. Крім того, значна частина вітчизняних субпідрядних організацій належить до малого та середнього бізнесу, що обмежує їхні можливості щодо створення повноцінної цифрової інфраструктури та залучення висококваліфікованих спеціалістів.

Висновки по розділу 2

Проведений аналіз засвідчив, що сучасна система контролю параметрів будівництва повинна базуватися не лише на фіксації результатів завершених операцій, а й на безперервному спостереженні за параметрами будівельного процесу, які безпосередньо впливають на характеристики кінцевої будівельної продукції. Саме тому в основу дослідження покладено принцип випереджувального контролю, орієнтованого на своєчасне виявлення відхилень від проєктних вимог та попередження виникнення дефектів.

Дослідження монолітних залізобетонних робіт, які займають домінуюче місце у структурі кошторисної вартості, дозволив встановити, що майже половина усіх норм збірника бетонних і залізобетонних робіт стосується саме влаштування залізобетонних конструкцій, а загальна частка робіт, пов'язаних із виготовленням конструктивних елементів із бетону та залізобетону, перевищує 65% усієї номенклатури. Це свідчить про репрезентативність зазначеної групи процесів та можливість поширення отриманих результатів на значну частину будівельного виробництва.

Доведено, що основу оцінювання будівельної продукції повинна становити система взаємопов'язаних параметрів, до яких належать обсяги виконаних робіт, геометричні характеристики конструкцій, фізико-механічні властивості матеріалів, параметри армування, ресурсомісткість технологічних процесів і відповідність робіт проєктним рішенням. Аналіз структури кошторисних норм дозволив зробити висновок про відносну однорідність переважної більшості монолітних залізобетонних робіт, що створює передумови для формування універсального підходу до цифрового контролю їх якості.

В цілому по роботах із улаштування залізобетонних конструкцій потрібно відзначити наступні характеристики:

а) середня трудомісткість одиничного обсягу робіт із улаштування залізобетонних конструкцій – 382.75±92.86 люд-год. на обсяг у 100 м3, для бетонування поверхонь – 18.96±22.75 люд-год. на площу у 100 м2, на укладання арматури – 41.47±20.41 люд-год. на 1 т;

б) середня тривалість виконання 1-ї технологічної операції: від 32.88 до 49.80 люд.-год. на 100 $м^3$ конструкцій, від 3,8 до 5,67 люд.-год на 100 кв.м площі проекції відповідних конструктивних елементів та межах 4.40 … 7.58 люд.-год. на укладання 1 т арматурних матеріалів;

в) роботи із вимірником у 100 $м^3$ бетону/залізобетону в ділі вимагають фізичних маніпуляцій в середньому над 139.54±31.9 т різноманітних будівельних матеріалів, натомість арматурні роботи виявились значно легшими, оскільки в сукупності із 1 т арматури доведеться укладати 29.41±16.35 т всіляких будівельних матеріалів.

Для більшості залізобетонних робіт підтверджено апріорну пряму залежність: більша маса укладених будівельних матеріалів провокує більші витрати труда: максимальні – для «об'ємних» конструкцій ≈ 2 люд.-год на кожну тонну укладених в діло будівельних матеріалів (2,11±0,103), проте для арматурних робіт витрати часу на виконання відстають від часи металу й супутніх матеріалів, вимагаючи роботи у 0,6 люд.год. на кожну тонну (0,59±0,17).

У ході дослідження готовності учасників інвестиційно-будівельних проєктів до цифрової трансформації встановлено, що попри наявні загальнодержавні передумови та високий рівень поширення базових інтернет-технологій і хмарних сервісів, процес цифровізації підприємств галузі супроводжується низкою системних бар'єрів. На основі аналізу міжнародних індексів цифрової конкурентоспроможності та показників діяльності вітчизняних підприємств сформовано комплексну систему факторів цифрової зрілості, яка охоплює технічні, організаційні, кадрові та управлінські аспекти.

Проведений SWOT-аналіз підрядних і субпідрядних організацій засвідчив, що ключовими стримувальними чинниками є дефіцит профільних IT-кадрів, обмеженість фінансових ресурсів для масштабної модернізації, психологічний опір персоналу, а також недостатній рівень інтеграції BIM-технологій та стандартизації цифрових процесів.

Водночас цифрова трансформація виступає не лише технологічним інструментом локального вдосконалення, а й стратегічною умовою забезпечення конкурентоспроможності, операційної стійкості та інтеграції учасників будівництва у сучасні проєктні екосистеми. Застосування сучасних цифрових платформ, єдиного середовища даних (CDE), інструментів автоматизованого контролю й штучного інтелекту дозволяє суттєво підвищити продуктивність праці, прозорість взаємодії та якість реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах сучасних викликів. Для генеральних підрядників пріоритетом є розвиток загальної цифрової координації та стратегій, тоді як для субпідрядних підприємств критично важливою є глибока інтеграція у цифрові контури генпідрядника та розвиток спеціалізованих BIM-компетенцій для ефективного виконання вузькопрофільних робіт.

РОЗДІЛ 3
ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ В УПРАВЛІННІ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЄКТАМИ

3.1. Концептуальна модель цифрового управління економічними параметрами проєктів на різних етапах життєвого циклу об’єкту будівництва

Сучасний розвиток будівельної галузі характеризується стрімким впровадженням цифрових технологій у всі етапи життєвого циклу об'єктів будівництва. Особливого значення цифрова трансформація набуває на проєктній стадії, оскільки саме в цей період закладаються основні технічні, організаційні та економічні параметри майбутнього об'єкта. Від якості управлінських рішень, прийнятих під час проєктування, залежить рівень витрат, ефективність використання ресурсів, тривалість реалізації проєкту та його подальша експлуатаційна результативність. У цих умовах інтеграція цифрових технологій у систему управління економічними параметрами об'єкта стає не лише інструментом підвищення конкурентоспроможності будівельних компаній, а й необхідною умовою забезпечення ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, а також управління ризиками.

Коли управління економічними параметрами проєктів ґрунтується на використанні розрізнених джерел інформації, значної кількості ручних розрахунків та складних процедур узгодження проєктних рішень, це часто призводить до виникнення помилок, неточностей у кошторисах, неефективного використання ресурсів і, як наслідок, перевищення запланованого бюджету, що не дозволяє забезпечити необхідний рівень контролю та прогнозованості. Саме тому цифрові технології стають ключовим фактором підвищення якості економічного управління та мінімізації ризиків, при цьому особливо відповідальним етапом є саме стадія проєктування (рис. 3.1).

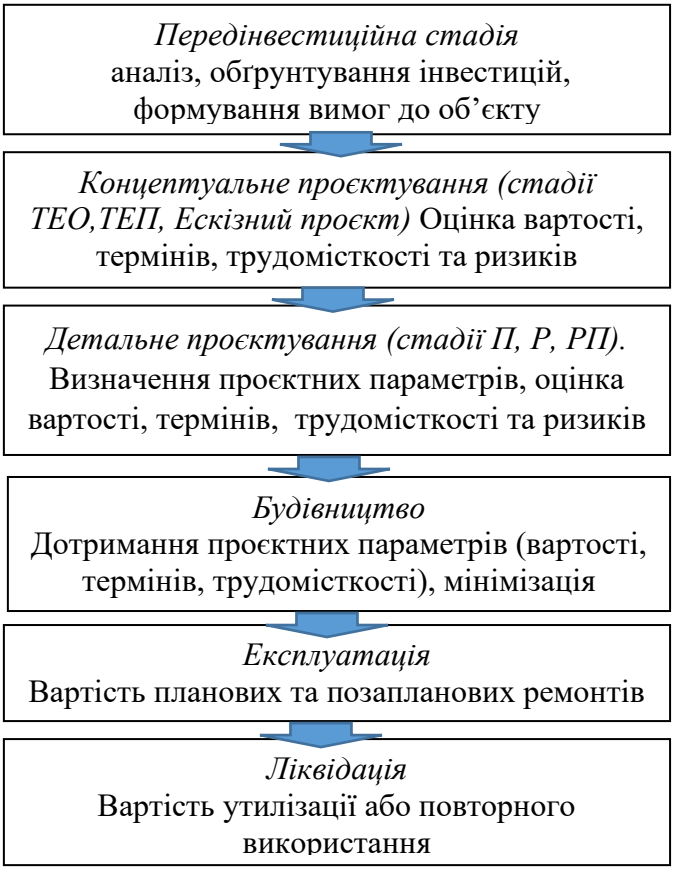


Рис. 3.1. Напрямки аналізу і накопичення даних для побудови цифрової моделі управління параметрами будівництва на різних стадіях життєвого циклу об'єкту

Джерело: розроблено автором

Для визначення й управління економічними параметрами будівельного об'єкта важливо враховувати наступну закономірність – **чим більш рання стадія життєвого циклу, тим більшою є можливість впливу на кінцеву вартість, терміни, трудомісткість і ризики, а вартість внесення змін є мінімальною, тоді як, чим пізніше стадія, тим менше можливостей для коригування та тим дорожчими стають зміни** (табл. 3.1).

Вплив на ключові параметри об'єкта будівництва суттєво змінюється залежно від стадії його життєвого циклу. На етапі ініціації та передпроєктного аналізу терміни, вартість і трудомісткість визначаються лише орієнтовно, а точність прогнозування залишається низькою, оскільки основні характеристики майбутнього об'єкта ще не сформовані та можуть зазнавати

значних змін об’ємно-планувальних, конструктивних, а тим більше організаційно-технологічних рішень.

Таблиця 3.1

Визначення впливу на параметри об'єкта будівництва залежно від стадії життєвого циклу

Стадія життєвого циклу	Терміни	Вартість	Трудомісткість	Точність прогнозування
Ініціація та передпроєктний аналіз	Низька деталізація	Орієнтовна оцінка	Орієнтовна оцінка	Низька, можуть суттєво змінюватись параметри
Концептуальне проєктування	Формування графіка	Визначення основних витрат	Попередня оцінка ресурсів	Середня, визначають головні параметри об’єкта
Розробка проєктної документації	Деталізація календарного плану	Формування кошторису	Нормативна оцінка трудовитрат	Висока, остаточно визначаються параметри об’єкта
Підготовка до будівництва	Уточнення графіків	Контроль бюджету	Планування трудових ресурсів	Висока, остаточно визначаються організаційно-технологічні передумови будівництва
Будівництво	Контроль виконання	Фактичні витрати	Фактична трудомісткість	Дуже висока, дотримання проєктних параметрів
Експлуатація	Планування обслуговування	Експлуатаційні витрати	Обслуговуючий персонал	Висока (параметри експлуатації)
Виведення з експлуатації	Планування демонтажу	Витрати на утилізацію	Трудомісткість демонтажу	Висока (параметри демонтажу)

Джерело: розроблено автором

У процесі концептуального проєктування відбувається визначення попереднього плану або графіка реалізації проєкту, визначаються основні витрати та потреби в ресурсах, а точність прогнозування підвищується, що дозволяє встановити головні об’ємно-конструктивні характеристики об’єкта. Найбільш важливою з точки зору управління економічними параметрами є стадія розробки проєктної документації, де здійснюється деталізація календарного плану, формування кошторисної вартості та нормативна оцінка трудомісткості робіт. Саме на цьому етапі параметри об’єкта остаточно

визначаються, а точність прогнозування вже є достатньо великою. На стадії підготовки до будівництва уточнюються графіки виконання робіт, контролюється бюджет і плануються трудові ресурси, що забезпечує високу точність прогнозування та формує організаційно-технологічні передумови реалізації проєкту. Під час будівництва основна увага приділяється контролю виконання робіт, фактичних витрат і трудомісткості, а точність оцінювання параметрів стає дуже високою, оскільки будівництво відбувається за графіками і бюджетом, визначеними на попередній стадії, тому важливим є дотримання виконання проєктних вимог, а також мінімізація відхилень реальних показників від проєктних. Проте будівництво є постійно змінюваною системою, яка залежить від багатьох факторів, а тому повна відповідність реальних витрат, термінів і трудомісткості вимогам проєкту зустрічається досить рідко і відхилення все-рівно існують. На стадії експлуатації об’єкта ключовими параметрами виступають витрати на утримання та обслуговування споруди, а під час виведення з експлуатації оцінюються витрати на демонтаж і утилізацію та пов’язана з ними трудомісткість. Таким чином, у міру переходу від початкових до завершальних стадій життєвого циклу точність прогнозування постійно зростає, тоді як можливість істотного впливу на основні параметри об’єкта поступово зменшується, що підкреслює визначальну роль проєктування у формуванні економічної ефективності будівництва. Саме тому проєктна стадія вважається ключовою для управління економічною ефективністю об'єкта, оскільки на ній формується до 80-90% майбутніх витрат життєвого циклу будівлі.

Серед найбільш важливих цифрових інструментів управління проектними параметрами об’єкта нерухомості особливе місце займає технологія інформаційного моделювання будівель (BIM), яка забезпечує створення єдиного цифрового середовища для накопичення, обробки та аналізу інформації про об'єкт. BIM-модель об'єднує геометричні, технологічні, конструктивні та економічні характеристики будівлі або споруди, що дозволяє формувати комплексне уявлення про проєкт ще до початку будівельних робіт.

На відміну від традиційних креслень, інформаційна модель постійно оновлюється і відображає всі зміни, які відбуваються в процесі розроблення проєкту на усіх стадіях життєвого циклу. Це забезпечує високий рівень достовірності даних та створює основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Не менш важливе значення має впровадження цифрових платформ спільної роботи, які забезпечують оперативний доступ усіх учасників проєкту до актуальної інформації незалежно від їхнього місцезнаходження. Завдяки цифровій взаємодії архітектори, інженери, кошторисники, інвестори та менеджери можуть працювати в єдиному інформаційному просторі, що значно скорочує час погодження рішень і зменшує ймовірність виникнення помилок. В умовах складних багатокомпонентних проєктів така координація є одним із найважливіших факторів забезпечення економічної ефективності.

Використання цифрових технологій на проєктній стадії суттєво розширює можливості управління вартістю майбутнього об'єкта. Автоматизація підрахунку обсягів робіт, розрахунку матеріальних потреб і формування кошторисної документації дозволяє значно підвищити точність визначення вартості будівництва. Будь-які зміни у проєкті автоматично відображаються у фінансових показниках, що дає можливість оперативно оцінювати їхній вплив на бюджет. У результаті замовник, підрядники і проєктувальники отримують інструмент постійного контролю економічних параметрів, що мінімізує ризики фінансових перевитрат і підвищує ефективність планування інвестицій. При цьому сам характери ризиків, можливість внесення змін, їхня вартість та вплив прийнятих рішень на кінцевий результат і можливість управління ними також змінюються в залежності від стадії життєвого циклу об’єкта (табл. 3.2).

На стадії ініціації та передпроєктного аналізу ризики є найвищими через значну невизначеність вихідних даних, проте саме на цьому етапі зберігається максимальна можливість коригування проєктних рішень за мінімальних

витрат, а вплив таких рішень на майбутні характеристики об’єкта є визначальним.

Таблиця 3.2

Ризики і вплив можливостей внесення змін на кінцевий залежно від стадії життєвого циклу об’єкта

Стадія життєвого циклу	Ризики	Можливість внесення змін	Вартість змін	Вплив рішень на кінцевий результат
Ініціація та передпроєктний аналіз	Дуже високі	Дуже висока	Дуже низька	Дуже високий
Концептуальне проєктування	Високі	Висока	Низька	Дуже високий
Розробка проєктної документації	Середні	Середня	Середня	Високий
Підготовка до будівництва	Середні	Обмежена	Висока	Середній
Будівництво	Середні та високі	Обмежена	Дуже висока	Низький
Експлуатація	Середні	Мінімальна	Максимальна	Дуже низький
Виведення з експлуатації	Середні	Відсутня	Максимальна	Практично відсутній

Джерело: розроблено автором

Під час концептуального проєктування ризики залишаються високими, однак уточнення концептуальних рішень дозволяє ефективно впливати на ключові параметри проєкту, зберігаючи відносно низьку вартість змін і дуже високий вплив на кінцевий результат. На стадії розробки проєктної документації ризики поступово зменшуються завдяки деталізації рішень, проте можливість їх коригування вже є більш обмеженою, а вартість внесення змін зростає до середнього рівня. На етапі підготовки до будівництва більшість основних технічних і організаційних рішень уже прийнято, тому можливість внесення змін стає дещо обмеженою, а витрати на їх реалізацію суттєво збільшуються, водночас вплив на кінцевий результат знижується до середнього рівня. Під час будівництва зміни потребують значних фінансових та часових ресурсів, що обумовлює дуже високу вартість їх впровадження, тоді як можливість впливу на основні параметри проєкту є низькою. Проте

нерідкими є випадки коли саме на стадії будівництва змінюється проєкт, що викликано низкою організаційно-технологічних чинників, особливо в період війни та енергетичної кризи. На стадії експлуатації будь-які зміни пов’язані з максимальними витратами, а їх вплив на досягнення запланованих показників об’єкта є мінімальним. На завершальному етапі виведення об’єкта з експлуатації можливість внесення змін практично відсутня, а всі рішення мають переважно локальний характер і майже не впливають на кінцевий результат проєкту.

Значну роль у вдосконаленні системи управління економічними параметрами об’єктів відіграють також технології накопичення інформації про конструктивні елементи та будівельні матеріали, аналізу даних протягом їх експлуатації щодо необхідності заміни або періодичності ремонтів, що дозволяє здійснювати оцінювання різних варіантів проєктних рішень з урахуванням їх економічних наслідків та впливу вартості експлуатації на показники інвестиційного проєкту. На основі накопиченого досвіду реалізації аналогічних проєктів системи штучного інтелекту можуть прогнозувати можливі відхилення, визначати найбільш ефективні варіанти використання ресурсів та оцінювати потенційні ризики ще до початку будівництва [66, 68].

Таким чином існує обернена залежність між можливістю внесення змін та їх вартістю – чим раніше приймаються управлінські рішення, тим дешевше їх реалізація та більший вплив на ефективність проєкту, тоді як на пізніх стадіях життєвого циклу вартість змін різко зростає, а їхній потенційний ефект суттєво зменшується.

Концептуальна модель цифрового управління економічними параметрами проєктів на різних етапах життєвого циклу об'єкта будівництва (рис. 3.2) розроблена з метою формування цілісної системи підтримки управлінських рішень в умовах цифрової трансформації будівельної галузі. Модель інтегрує інструменти цифрового середовища, економіко-математичного моделювання, оцінювання ризиків на основі теорії нечітких множин, оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва та систему

управління ризиками, що забезпечує комплексний підхід до досягнення цільових параметрів будівництва.

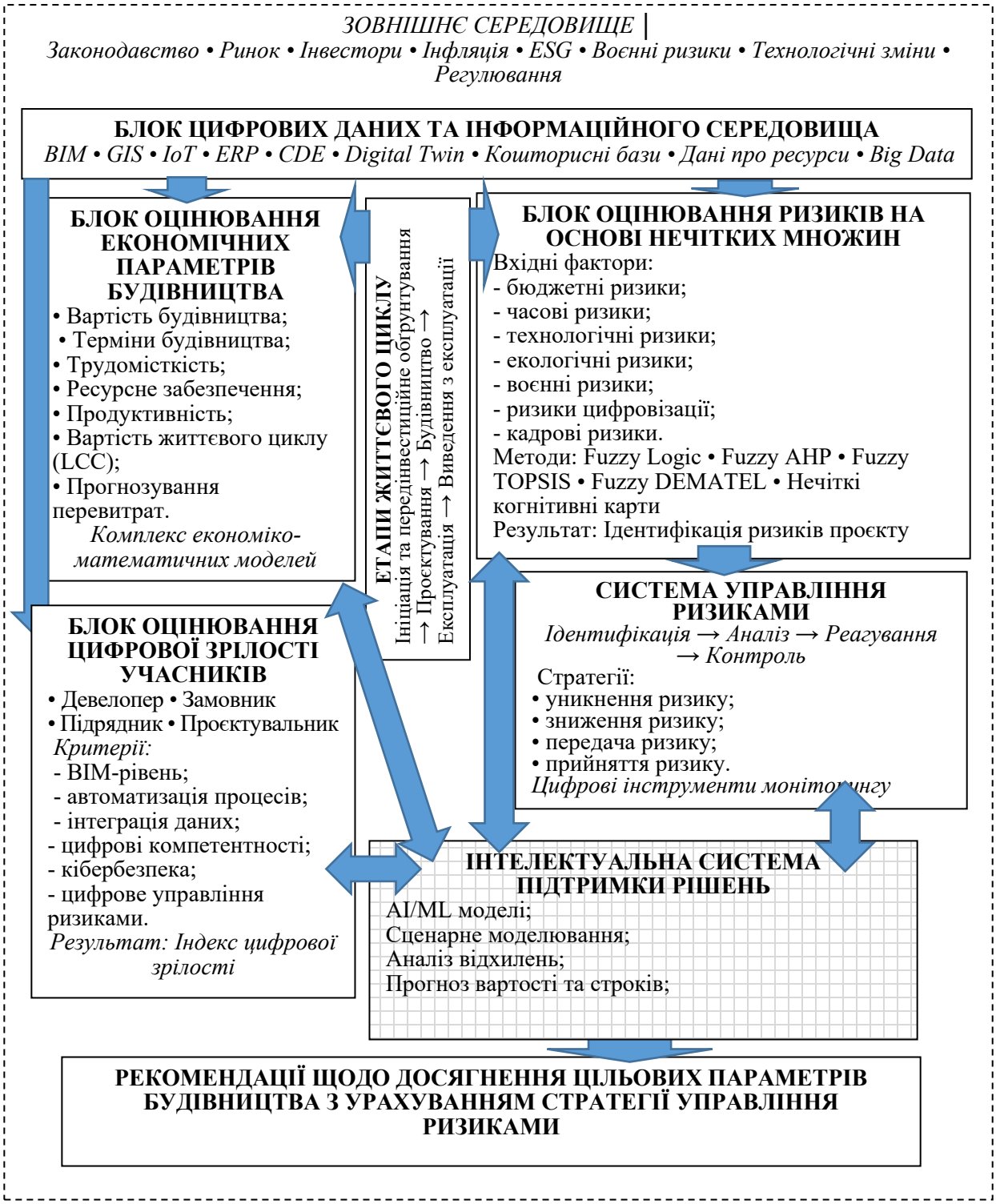


Рис. 3.2. Концептуальна модель цифрового управління економічними параметрами проєктів на різних етапах життєвого циклу об'єкту

Джерело: розроблено автором

Зовнішній контур моделі представлений блоком зовнішнього середовища, який формує сукупність факторів прямого та непрямого впливу на реалізацію інвестиційно-будівельного проєкту. До його складу входять нормативні та законодавчі вимоги, регуляторна політика держави, стан ринку будівельних послуг, інвестиційний клімат, інфляційні процеси, ESG-вимоги, рівень технологічного розвитку галузі, а також специфічні для сучасних умов воєнні ризики. Вплив зовнішнього середовища проявляється у зміні вартості ресурсів, доступності фінансування, строків реалізації проєктів, вимог до якості будівництва та рівня цифровізації бізнес-процесів. Саме тому в моделі враховано необхідність постійного моніторингу зовнішніх факторів та їхнього врахування при формуванні управлінських рішень.

Ключовим елементом інформаційного забезпечення моделі є ***блок цифрових даних та інформаційного середовища***, який виступає основою для накопичення, оброблення та інтеграції інформації протягом усього життєвого циклу об'єкта будівництва. До його складу входять технології BIM (Building Information Modeling), GIS-системи, Internet of Things (IoT), ERP-платформи, Common Data Environment (CDE), Digital Twin, кошторисні бази даних, дані щодо ресурсного забезпечення та інструменти Big Data-аналітики. Об'єднання зазначених цифрових технологій дозволяє створити єдиний інформаційний простір, в якому всі учасники будівництва працюють із актуальними даними в режимі реального часу. Використання цифрового двійника об'єкта забезпечує можливість безперервного контролю технічних та економічних параметрів на етапах проектування, будівництва та експлуатації.

Наступним елементом є ***блок оцінювання економічних параметрів будівництва***, який базується на комплексі економіко-математичних моделей. Його основним призначенням є формування інформаційно-аналітичної бази для оцінювання ефективності проєкту та прогнозування можливих відхилень. У межах цього блоку визначаються ключові економічні показники, серед яких вартість будівництва, строки реалізації проєкту, трудомісткість виконання робіт, рівень ресурсного забезпечення, продуктивність, вартість життєвого

циклу об'єкта (Life Cycle Costing, LCC) та прогнозні обсяги перевитрат або відхилень від проєктних параметрів. При необхідності перелік контрольних показників можна доповнювати або скорочувати. Використання економіко-математичних моделей дозволяє здійснювати прогнозування динаміки витрат, аналіз чутливості проєкту до змін зовнішнього середовища, оптимізацію використання ресурсів та оцінювання альтернативних сценаріїв реалізації проєкту. Таким чином забезпечується формування кількісної основи для прийняття управлінських рішень.

Важливе місце в запропонованій моделі займає ***блок оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва***, оскільки ефективність впровадження цифрових технологій значною мірою залежить від рівня готовності суб'єктів будівельного процесу до цифрової взаємодії. Оцінювання здійснюється для основних таких учасників проєкту як замовник, проєктувальники та підрядники, але список учасників інвестиційно-будівельного проєкту також можна доповнювати. Критеріями оцінювання виступають рівень впровадження BIM-технологій, ступінь автоматизації бізнес-процесів, інтегрованість інформаційних систем, рівень цифрових компетентностей персоналу, стан кібербезпеки та наявність цифрових механізмів управління ризиками. Результатом функціонування блоку є ***індекс цифрової зрілості***, який характеризує готовність учасників до використання сучасних цифрових інструментів. Отримані результати можуть використовуватися для вибору відповідних цифрових технологій та коригування стратегії управління ризиками.

Одним із центральних компонентів моделі є ***блок оцінювання ризиків на основі нечітких множин***, який призначений для роботи в умовах невизначеності та неповноти інформації. Особливість будівельних проєктів полягає в тому, що значна частина ризиків не може бути оцінена виключно за допомогою детермінованих або ймовірнісних методів. Тому в моделі застосовано методологію нечіткої логіки та пов'язані з нею інструменти: Fuzzy Logic, Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy DEMATEL і нечіткі когнітивні карти.

Вхідними параметрами виступають бюджетні, часові, технологічні, екологічні, воєнні, кадрові ризики та ризики цифровізації. Використання зазначених методів дозволяє враховувати експертні оцінки, формалізовувати лінгвістичні змінні та визначати причинно-наслідкові зв'язки між факторами ризику. Результатом роботи блоку є ідентифікація ризиків проєкту та визначення їхнього впливу на економічні параметри будівництва.

Ідентифіковані ризики надходять до ***системи управління ризиками***, яка забезпечує їх послідовне опрацювання відповідно до класичного циклу ризик-менеджменту за етапами ідентифікація, аналіз, реагування та контроль. У межах системи формуються відповідні управлінські стратегії, серед яких уникнення ризику, його зниження, передача або прийняття. Для забезпечення оперативного контролю використовуються цифрові інструменти моніторингу, які дозволяють відстежувати зміни ключових показників проєкту в режимі реального часу та своєчасно реагувати на виникнення загроз. Інтеграція системи управління ризиками з цифровим інформаційним середовищем сприяє підвищенню обґрунтованості управлінських рішень та мінімізації негативних наслідків ризикових подій.

Зазначені блоки функціонують у межах усіх **етапів життєвого циклу об'єкта будівництва**, оскільки стратегії, ризики і цільові параметри будуть відрізняться в залежності від стадії реалізації проєкту, тобто на стадіях ініціації та передінвестиційного обґрунтування, проєктування, будівництва, експлуатації та виведення з експлуатації має бути власний набір контрольних показників. Оскільки на кожному з цих етапів структура економічних параметрів, рівень ризику та потреба в цифрових інструментах змінюються, це обумовлює необхідність адаптивного управління. Запропонована модель забезпечує наскрізний інформаційний супровід проєкту та створює умови для безперервного оновлення даних і прийняття рішень на основі актуальної інформації.

Завершальним елементом моделі є ***інтелектуальна система підтримки рішень***, яка інтегрує результати роботи всіх попередніх блоків.

Вона включає моделі штучного інтелекту та машинного навчання, засоби сценарного моделювання, аналізу відхилень, прогнозування вартості та строків реалізації проєкту. На основі оброблення великих масивів даних система формує рекомендації щодо досягнення цільових економічних параметрів будівництва з урахуванням поточного рівня ризику та обраної стратегії ризик-менеджменту.

Усі перелічені вище блоки формують єдиний цифровий контур управління економічними параметрами будівельного проєкту, що об'єднує цифрові дані, оцінювання цифрової зрілості учасників, економіко-математичне моделювання, нечітко-множинне оцінювання ризиків та інтелектуальну підтримку прийняття рішень. Це дозволяє підвищити точність прогнозування вартості та строків будівництва, забезпечити своєчасне реагування на ризики, підвищити рівень цифрової взаємодії учасників та досягти цільових показників ефективності інвестиційно-будівельного проєкту на всіх стадіях його життєвого циклу.

3.2. Удосконалення процесу проєктування як передумова побудови ефективної системи управління ризиками

Стадія проєктування будівельних об'єктів є складним багатоетапним процесом, що охоплює комплекс інженерних, архітектурних, технологічних та розрахунково-конструкторських робіт, спрямованих на формування оптимальної для замовника моделі майбутнього об'єкта будівництва. Результатом цього процесу мають стати проєктні рішення, які забезпечують реалізацію архітектурно-будівельної концепції відповідно до вимог замовника, а також виконання нормативно-правових обмежень щодо надійності, безпеки, функціональності, інклюзивності, екологічності та санітарно-гігієнічних стандартів. Базою для виконання проєктних робіт виступають вихідні дані та технічне завдання на проєктування, що надаються замовником, і розробляються за участю проєктної організації з урахуванням цільових параметрів майбутнього інвестиційно-будівельного проєкту.

У вітчизняній практиці управління інвестиційно-будівельними проєктами зазвичай розглядають як послідовність взаємопов'язаних етапів, до яких належать формування концепції проєкту, визначення його цілей, розроблення проєктних рішень, практична реалізація та завершення проєкту з оцінкою досягнутих результатів [176, 178–182]. Такий підхід відображає логіку поступового переходу від ідеї інвестування до створення готового об'єкта нерухомості та дозволяє забезпечити контроль за досягненням запланованих технічних, економічних і організаційних параметрів на кожному етапі життєвого циклу проєкту.

Водночас у сучасній зарубіжній практиці інвестиційний цикл розглядається як безперервний процес створення та реалізації інвестиційної цінності, який охоплює етапи від ідентифікації інвестиційної можливості до постпроєктної оцінки отриманих результатів (табл. 3.3), акцентуючи увагу на передінвестиційному аналізі, фінансовому структуруванні, постійному моніторингу та оцінці досягнутих ефектів протягом усього життєвого циклу проєкту.

У міжнародній практиці інвестиційний цикл характеризується більш деталізованим підходом до структурування процесів підготовки та реалізації інвестиційних проєктів. Зокрема, він охоплює етапи пошуку потенційних об'єктів інвестування, оцінювання очікуваної прибутковості та ризиків проєкту, формування механізмів фінансування, укладання договірних відносин між учасниками інвестиційного процесу, реалізацію виробничих, фінансових і комерційних заходів, а також подальше оцінювання отриманих результатів шляхом їх порівняння із запланованими показниками. Такий підхід свідчить про поступове зміщення акценту від безпосередньо будівельної складової проєкту до комплексного управління інвестиціями протягом усього життєвого циклу проєкту, що є особливо актуальним в умовах впровадження цифрових технологій та розвитку сучасних систем управління інвестиційно-будівельною діяльністю.

Таблиця 3.3

Інвестиційний цикл у сучасній зарубіжній практиці

Етап	Зміст етапу
1. Ініціація та ідентифікація інвестиційної можливості (Project Identification)	Формування інвестиційної ідеї, аналіз ринку, визначення потреб стейкхолдерів, попередній відбір альтернативних проєктів.
2. Передінвестиційний аналіз та техніко-економічне обґрунтування (Feasibility and Appraisal)	Проведення технічного, економічного, екологічного та соціального аналізу, оцінка ризиків, підготовка бізнес-плану та ТЕО.
3. Структурування та забезпечення фінансування (Financial Structuring and Financial Close)	Визначення джерел фінансування, розробка фінансової моделі, переговори з інвесторами та кредиторами, досягнення фінансового закриття проєкту.
4. Деталізовані контракти на виконання робіт та підготовка до реалізації (Contracting and Procurement)	Укладання контрактів між учасниками проєкту, вибір підрядників, отримання дозволів і погоджень, організація закупівель.
5. Реалізація проєкту (Project Implementation)	Виконання проєктних і будівельно-монтажних робіт, управління ресурсами, бюджетом, якістю та графіком виконання робіт.
6. Моніторинг та контроль результатів (Monitoring and Control)	Поточний контроль термінів, вартості, ризиків та показників ефективності проєкту, управління змінами та коригувальними діями.
7. Введення в експлуатацію та операційна фаза (Operation and Benefits Realization)	Передача об'єкта в експлуатацію, досягнення запланованих економічних результатів, управління експлуатаційними показниками.
8. Постпроєктна оцінка та аудит (Post-Project Evaluation and Audit)	Аналіз фактичних результатів, оцінка досягнення цілей, порівняння планових і фактичних показників, формування бази знань для майбутніх проєктів.

Джерело: узагальнено автором на основі сучасних міжнародних підходів до управління інвестиційними проєктами [183–186]

Розвиток сучасних підходів до організації, планування та управління проєктуванням, як необхідною передумовою забезпечення якості проєктних рішень та управління параметрами будівництва, пов'язаний із трансформацією організаційних форм взаємодії учасників інвестиційно-будівельного процесу та впровадженням нових моделей реалізації будівельних проєктів (табл. 3.4). Одним із таких напрямів є інтеграція процесів проєктування та будівництва, що супроводжується створенням нових організаційних утворень, зокрема проєктно-будівельних асоціацій, консорціумів, корпоративних об'єднань та інших структур, здатних забезпечити комплексне управління реалізацією проєктів.

Таблиця 3.4

Засоби покращення організації, планування та управління проектуванням

Напрям розвитку	Сутність та засоби реалізації	Вплив на параметри будівництва
Інтеграція проєктування та будівництва через реструктуризацію	Створення нових організаційних форм взаємодії учасників інвестиційно-будівельного процесу, зокрема проєктно-будівельних асоціацій, консорціумів, корпорацій, холдингів та інших інтегрованих структур, що забезпечує координацію діяльності стейкхолдерів у межах єдиної системи управління.	Скорочуються витрати часу на погодження рішень, підвищується керованість, зменшуються ризики конфліктів та дублювання функцій.
Розвиток контрактних форм взаємодії між учасниками будівництва	Впровадження сучасних договірних механізмів регулювання взаємовідносин між замовником, проєктувальниками, консультантами та підрядниками визначає розподіл відповідальності, ризиків, ресурсів та результатів діяльності кожного учасника.	Забезпечується прозорість управлінських процесів, підвищується відповідальність сторін за якість проєктних рішень і дотримання термінів, знижується рівень невизначеності та ризиків.
Організація будівництва об'єктів «під ключ»	Передбачає передачу генеральному виконавцю повного комплексу робіт та управління всіма стадіями життєвого циклу проєкту здійснюється єдиною організацією або консорціумом.	Висока узгодженість проєктно- будівельних процесів, скорочуються терміни реалізації, підвищується якість управління ресурсами.
Поєднання процесів проєктування та будівництва (Design-Build)	Передбачає паралельне виконання окремих етапів проєктування та будівництва, що дозволяє розпочинати будівельні роботи ще до завершення всього комплексу проєктної документації, що базується на сучасних цифрових технологіях, зокрема BIM-моделюванні та інтегрованому управлінні.	Скорочуються інвестиційний цикл і тривалість реалізації, зростає оперативність прийняття рішень, більш ефективне використання ресурсів.
Цифровізація процесів проєктування та управління	Передбачає впровадження BIM-технологій, систем управління проєктами, цифрових платформ спільної роботи та автоматизованих засобів контролю виконання робіт. Формується єдиний інформаційний простір для всіх учасників проєкту.	Підвищується якість проєктних рішень, оперативний моніторинг витрат і термінів, зменшується кількість помилок та переробок, покращується управління параметрами проєкту.
Інтегроване управління на основі принципів Lean Construction	Орієнтація на усунення втрат, оптимізація потоків робіт, підвищення продуктивності та створення максимальної цінності для замовника на основі принципів безперервного вдосконалення та залучення всіх учасників до процесу прийняття рішень.	Знижуються непродуктивні витрати, покращується використання ресурсів, підвищується передбачуваність результатів проєкту.

Джерело: розроблено автором

Важливим напрямом удосконалення є також розвиток контрактних механізмів взаємодії між учасниками будівництва, оскільки саме система договірного регулювання дозволяє чітко визначати відповідальність сторін, координувати виконання робіт та підвищувати ефективність використання ресурсів. Поряд із цим поширення набуває практика реалізації об'єктів за принципом «під ключ», за якої один виконавець або група інтегрованих виконавців несе відповідальність за весь комплекс робіт від проєктування до введення об'єкта в експлуатацію [187, 188].

Ключовим організаційно-правовим механізмом регулювання відносин між замовником та проєктною організацією виступає договір на виконання проєктних робіт. Саме договір визначає стадії проєктування, структуру та зміст завдання на проєктування, терміни виконання робіт, вимоги до якості та технічного рівня об'єкта, а також права, обов'язки та майнову відповідальність сторін.

Важливим напрямом удосконалення договірних відносин є впровадження механізмів страхування проєктних ризиків, що сприятиме підвищенню рівня надійності проєктної діяльності та мінімізації можливих фінансових втрат учасників інвестиційно-будівельного процесу.

Серед основних напрямів підвищення ефективності проєктування доцільно виділити оптимізацію проєктних рішень, яка передбачає ширше застосування сучасного обладнання, інноваційних технологій та передових інженерних рішень. Важливу роль у цьому процесі відіграють інженери-технологи, діяльність яких спрямована на вдосконалення організаційно-технологічних параметрів майбутнього будівництва.

Основною метою удосконалення процесів проєктування та будівництва є підвищення ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів шляхом скорочення тривалості будівництва, зниження вартості будівельних матеріалів і зменшення трудомісткості виконання будівельних робіт. Досягнення зазначених цілей безпосередньо пов’язане з впровадженням досягнень науково-технічного прогресу, сучасних технологій, інноваційних

матеріалів та цифрових інструментів управління, що забезпечують підвищення продуктивності праці, раціональне використання ресурсів і скорочення сукупних витрат на реалізацію проєктів (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Кроки щодо вдосконалення процесу проектування

Заходи щодо покращення та вдосконалення проєктування	1) Оптимізація проєктних рішень щляхом використання нових технологій, організаційних рішень, матеріалів.
	2) Використання варіативного проєктування хоча і є дорожчим, але дозволяє зменшити загальну кошторисну вартість проєкту.
	3) Комбіноване (паралельне) проектування та будівництво є основним засобом скорочення інвестиційного циклу, що позитивно впливає на усі показники ефективності інвестицій.
	4) Скорочення обсягу технічної документації, переведення її у цифровий формат дозволяє оптимізувати систему управління економічними параметрами проєкту

Джерело: розроблено автором

Особливого значення набуває впровадження комбінованого (паралельного) проєктування і будівництва, яке передбачає часткове поєднання окремих стадій життєвого циклу проєкту. Такий підхід є одним із найефективніших інструментів скорочення інвестиційного циклу та прискорення введення об'єктів в експлуатацію. Крім того, важливим резервом підвищення ефективності проєктної діяльності виступає раціоналізація складу та обсягу технічної документації шляхом усунення дублювання інформації та переходу до сучасних цифрових моделей представлення проєктних даних.

Ефективність інвестиційного циклу значною мірою залежить від рівня взаємодії між основними його учасниками. Незважаючи на тісний взаємозв'язок процесів проєктування та будівництва, між проєктувальником і генеральним підрядником часто відсутні прямі механізми координації, а врегулювання суперечностей здійснюється за посередництвом замовника. Така організаційна модель може знижувати оперативність прийняття рішень і

негативно впливати на ефективність реалізації проєкту.

Значний потенціал також має варіативне проєктування, засноване на розробленні та порівнянні альтернативних проєктних рішень з урахуванням технічних, економічних та експлуатаційних критеріїв. Практика свідчить, що додаткові витрати на обґрунтування й вибір найбільш ефективного варіанта можуть забезпечити суттєве зниження загальної кошторисної вартості будівництва.

Сучасні тенденції розвитку будівельної діяльності також пов'язані із впровадженням інтегрованих моделей проєктування та будівництва, що передбачають паралельне виконання окремих етапів проєкту, широке застосування цифрових технологій та інформаційного моделювання. Такий підхід сприяє скороченню тривалості реалізації проєктів, підвищенню якості управлінських рішень та створює передумови для ефективного використання цифрових інструментів управління інвестиційно-будівельними проєктами впродовж усього їх життєвого циклу.

Таким чином, розвиток процесів організації, планування та управління проєктуванням у сучасному будівництві характеризується переходом від розрізнених форм взаємодії до інтегрованих моделей управління, що базуються на партнерстві учасників проєкту, цифрових технологіях та принципах оптимізації бізнес-процесів. Особливу роль у цьому відіграють BIM-технології та концепція Lean Construction, які забезпечують підвищення ефективності проєктування, скорочення витрат і термінів реалізації проєктів, а також формування єдиного інформаційного середовища управління протягом усього життєвого циклу об'єкта.

Якість розробки проєктно-кошторисної документації також є одним із ключових чинників забезпечення ефективності інвестицій у будівництво, оскільки саме на стадії проєктування закладаються основні технічні, технологічні та економічні характеристики об'єкта. Через проєктні рішення реалізуються досягнення цільових вимог, реалізуються інноваційні технології (у тому числі BIM-моделювання об’єкта) та передові практики організації й

технології будівельного виробництва.

Від якості проєктних рішень залежить рівень техніко-економічних показників майбутнього об'єкта, ефективність його будівництва та експлуатації, надійність і безпека конструкцій, показники енергоефективності та економічна доцільність інвестицій. У зв'язку з цим до проєктної документації висуваються підвищені вимоги щодо обґрунтованості прийнятих рішень, збалансованості економічних і технічних критеріїв, а також забезпечення належного рівня якості та надійності проєктних розробок. Важливу роль у реалізації цих вимог відіграє діяльність проєктних організацій, які формують основу системи проєктування та забезпечують розроблення технічно й економічно обґрунтованих рішень для реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

На сучасному етапі розвитку інвестиційно-будівельної діяльності підвищення ефективності проєктування пов'язане не лише з удосконаленням окремих проєктних рішень, а й з впровадженням інтегрованих цифрових технологій, принципів ощадливого управління, інформаційного моделювання будівель, що відповідає сучасній парадигмі цифрового управління проєктами в умовах переходу до концепції Construction 4.0 та інтеграції цифрових технологій у систему управління життєвим циклом об'єктів будівництва (табл. 3.6).

Проєктна документація визначає функціональне призначення об'єкта, його конструктивні та технологічні характеристики, обсяги будівельно-монтажних робіт, потребу в ресурсах, календарні параметри реалізації та систему техніко-економічних показників. По суті, проєкт виступає інформаційною моделлю майбутнього об'єкта будівництва, що дозволяє оцінити результати реалізації інвестиційного задуму ще до початку будівельних робіт. У зв'язку з цим технічна досконалість та економічна обґрунтованість проєктних рішень безпосередньо впливають на рівень ефективності капітальних вкладень, конкурентоспроможність проєкту та досягнення його цільових параметрів.

Таблиця 3.6

Основні напрями підвищення ефективності та вдосконалення процесу проєктування

Напрям удосконалення	Характеристика та очікуваний ефект
1. Оптимізація проєктних рішень на основі інноваційних технологій	Впровадження сучасного обладнання, енергоефективних технологій, автоматизованих систем управління та інженерних рішень. Інновації на стадії проєктування забезпечують зниження експлуатаційних витрат, підвищення продуктивності та скорочення життєвого циклу проєкту.
2. Багатоваріантне (альтернативне) проєктування	Розроблення та оцінювання декількох проєктних альтернатив, додаткові витрати на розробку яких можуть компенсуватися зниженням вартості будівництва, підвищенням економічної ефективності та мінімізацією ризиків.
3. Інтегроване (паралельне) проєктування та будівництво (Concurrent Engineering)	Одночасне виконання окремих стадій проєктування, закупівель та будівництва, що дозволяє скоротити тривалість інвестицій-ного циклу, прискорити введення об'єкта в експлуатацію та підвищити ефективність використання інвестиційних ресурсів.
4. Впровадження BIM-технологій	Забезпечує координацію дій усіх учасників проєкту, автоматизацію розрахунків, виявлення колізій на ранніх стадіях та зниження витрат на переробки в процесі будівництва.
5. Реалізація принципів Lean Design та Lean Construction	Мінімізація втрат часу і ресурсів через удосконалення бізнес-процесів проєктування, забезпечує підвищення цінності для замовника та безперервне вдосконалення проєктних рішень.
6. Цифровізація та автоматизація проєктної документації	Дозволяє скоротити обсяг паперової документації, прискорити передачу інформації та підвищити якість прийняття управлінських рішень.
7. Використання параметричного проєктування	Дозволяє автоматизувати пошук оптимальних технічних рішень, прогнозувати ризики та оцінювати економічні наслідки різних сценаріїв реалізації проєкту.
8. Раннє залучення стейкхолдерів та інтегроване управління проєктом	Передбачає участь замовників, проєктувальників, підрядників та експлуатаційних організацій на ранніх стадіях проєкту, що знижує ймовірність проєктних помилок, конфліктів та подальших змін проєктної документації.
9. Скорочення та стандартизація технічної документації	Використання типових проєктних рішень, модульного проєктування, цифрових шаблонів і єдиних стандартів даних спрощує процедури погодження та пришвидшує реалізацію.

Джерело: узагальнено автором на основі концепцій BIM, Lean Construction, Integrated Project Delivery (IPD), Concurrent Engineering

Водночас важливим фактором підвищення ефективності інвестиційно-будівельної діяльності є скорочення тривалості проєктування. Оптимізація проєктних процедур, впровадження цифрових технологій та автоматизованих

систем проєктування дозволяють істотно прискорити підготовку проєктної документації, що, своєю чергою, сприяє скороченню загальної тривалості реалізації будівельного проєкту, прискоренню введення об'єкта в експлуатацію та підвищенню економічної результативності інвестицій.

Якість і зміст проєктних рішень безпосередньо визначають технічний рівень майбутнього об'єкта будівництва, його функціональну придатність, надійність, безпеку експлуатації, енергоефективність та економічну доцільність реалізації. Саме на стадії проєктування формуються ключові параметри об'єкта, які в подальшому впливають на обсяги інвестиційних витрат, тривалість будівництва, експлуатаційні характеристики та загальну ефективність використання ресурсів протягом усього життєвого циклу. У зв'язку з цим в сучасних умовах до проєктної документації висуваються підвищені вимоги щодо обґрунтованості прийнятих рішень, збалансованості технічних, економічних та організаційних параметрів, а також забезпечення належного рівня надійності та стійкості проєктних рішень до впливу зовнішніх чинників.

У контексті дослідження цифрової трансформації інвестиційно-будівельних проєктів особливого значення набуває вдосконалення методів оцінювання проєктних рішень на основі цифрових даних, багатокритеріального аналізу, економіко-математичного моделювання та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Використання системи техніко-економічних показників, аналіз чинників впливу та кількісне оцінювання взаємозв'язків між ними створюють підґрунтя для формування сучасних цифрових механізмів управління проєктною діяльністю. Водночас недостатньо дослідженими залишаються питання інтеграції цифрових технологій у процеси вибору проєктних рішень, оцінювання їх економічної ефективності та управління параметрами інвестиційно-будівельних проєктів протягом усього життєвого циклу, що обумовлює актуальність подальших наукових досліджень у цьому напрямі.

3.3. Обґрунтування цифрового інструментарію управління ризиками будівництва на основі теорії нечітких множин

У науковій літературі ризик у будівництві трактується як ймовірність виникнення подій або сукупності чинників, здатних зумовити відхилення фактичних результатів проєкту від запланованих показників щодо вартості, термінів реалізації та якості виконання робіт [189, 191].

Відповідно до положень міжнародного стандарту ISO 31000:2018 та методології PMBOK Guide, управління ризиками розглядається як безперервний процес, що включає виявлення ризикових факторів, їх аналіз та оцінювання, розроблення і реалізацію заходів впливу, здійснення моніторингу та контролю, а також систематичне вдосконалення управлінських практик з урахуванням отриманого досвіду [192, 193].

Сучасне середовище функціонування учасників будівництва характеризується високим рівнем нестабільності та невизначеності, що обумовлено впливом широкого спектра ризиків організаційного, фінансово-економічного, техніко-технологічного та інформаційного походження (табл. 3.7). Складність і взаємозалежність зазначених факторів потребують застосування комплексного підходу до управління ризиками, який забезпечує інтегровану оцінку їх впливу на досягнення стратегічних і операційних цілей інвестиційно-будівельного проєкту.

Узагальнена класифікація ризиків, які визначено на основі джерел [194–196] свідчить про багатовимірний характер ризикового середовища учасників будівництва.

В умовах цифровізації особливого значення набувають цифрові, інформаційні та кадрові ризики, які суттєво впливають на результативність реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. Тому ефективна система управління ризиками повинна базуватися на принципах комплексності, інтегрованості та превентивного управління, що забезпечить підвищення стійкості будівельної організації до зовнішніх і внутрішніх загроз.

Таблиця 3.7

Класифікація ризиків учасників інвестиційно-будівельного проєкту

Група	Характеристика	Вразливі групи
Стратегічні ризики	Помилкове визначення цілей проєкту, зміна інвестиційної стратегії, неправильна оцінка ринкової кон'юнктури	Інвестор, девелопер, замовник
Фінансово-інвестиційні ризики	Недостатність фінансування, зростання відсоткових ставок, інфляція, валютні коливання, неплатоспроможність учасників	Інвестор, банк, замовник, підрядник
Проєктно-технічні ризики	Помилки проєктування, неузгодженість проєктної документації, колізії інженерних систем, технологічні помилки	Проєктувальник, технічний нагляд, замовник
Будівельно-виробничі ризики	Невиконання графіка робіт, низька продуктивність праці, дефіцит матеріалів, відхилення від технології будівництва	Генеральний підрядник, субпідрядники
Контрактні ризики	Порушення договірних зобов'язань, претензії сторін, судові спори, неякісне управління контрактами	Усі учасники проєкту
Логістичні ризики	Затримки поставок, порушення ланцюгів постачання, дефіцит обладнання та матеріалів	Постачальники, підрядники, замовник
Організаційно-управлінські ризики	Недостатня координація учасників, помилки управління проєктом, низька якість комунікацій	Замовник, керівник проєкту, підрядники
Правові та регуляторні ризики	Зміна законодавства, затримка отримання дозволів, порушення нормативних вимог	Замовник, інвестор, проєктувальник
Екологічні ризики	Негативний вплив на навколишнє середовище, екологічні обмеження, штрафні санкції	Замовник, підрядник, експлуатуюча організація
Соціальні ризики	Конфлікти із громадськістю, дефіцит кваліфікованого персоналу, трудові спори	Замовник, підрядник, місцева влада
Цифрові та інформаційні ризики	Кібератаки, втрата даних BIM-моделі, помилки інформаційних систем, порушення інформаційної безпеки	Усі учасники цифрового середовища проєкту
Експлуатаційні ризики	Передчасний знос конструкцій, додаткові витрати на утримання об'єкта, недосягнення прогнозованих показників ефективності	Власник, оператор об'єкта, інвестор
Форс-мажорні	Війна, стихійні лиха, пандемії, інші надзвичайні ситуації	Усі учасники проєкту

Джерело: узагальнено автором за джерелами [194–196].

Наведена у табл. 3.7 класифікація ризиків інвестиційно-будівельного проєкту базується на їх групуванні за характером виникнення та сферою впливу на процес реалізації проєкту [197, 198]. Вона передбачає поділ ризиків на зовнішні та внутрішні. До зовнішніх належать політичні, економічні, правові, екологічні, соціальні та форс-мажорні ризики, виникнення яких не

залежить від діяльності учасників проєкту, але може суттєво впливати на його вартість, терміни реалізації та кінцеву ефективність. Внутрішні ризики формуються безпосередньо в межах проєкту та пов'язані з якістю управлінських рішень, фінансуванням, організацією будівництва, підготовкою проєктної документації, виконанням договірних зобов'язань і використанням цифрових технологій. Такий підхід дозволяє систематизувати численні фактори невизначеності та забезпечує комплексне бачення ризикового середовища інвестиційно-будівельної діяльності.

Оскільки трудовий фактор визначено нами, як пріоритетний у забезпеченні параметрів будівельної продукції, пропонуємо низку засобів цифровізованого контролю трудозатрат робітників як індикатору ризику відхилень параметрів будівельних робіт. Насамперед вважаємо за доцільне розробити методичний підхід до зонування фактичної трудомісткості будівельних робіт, що забезпечить передумови своєчасного виявлення відхилень параметрів будівельної продукції від проєктних та інших вимог, передбачених стандартами, директивами, технічними умовами.

З огляду на те, що однієї із важливих характеристик будівництва є своєчасність виконання всіх його етапів, вважаємо за доцільне впровадити у практичне використання розрахунок можливих затримок виконання робіт, зумовлених виправленням дефектів робіт, яка дозволить здійснювати випереджувальний контроль. У якості аргументів обчислень пропонується використовувати нечіткі числа, що дозволить змоделювати песимістичний сценарій виконання будівельних робіт, коли не вдасться уникнути недоліків у роботі, і доведеться додатково працювати з метою їх усунення.

Крім того, з метою забезпечення випереджального контролю пропонується авторська методика рейтингування виконавців робіт та постачальників будівельних матеріалів, оскільки останні відіграють важливу роль у дотриманні якісних вимог до будівельних конструкцій та їх опорядження.

Зонування фактичної трудомісткості будівельних робіт вважаємо за

доцільне визначити за допомогою нечітких чисел типу 2, побудованих на основі обґрунтування теоретичного значення трудомісткості, необхідної для виконання певного виду робіт, передбаченого проектом. Нечіткі числа 2-типу являють собою пару нечітких множин, а графічно (рис. 3.3) можуть бути представленим двома кривими чи ламаними лініями, одна з яких розташована «всередині» іншої.

Лінії, наведені на рис. 3.3 мають назву «внутрішнє розтягнення» і «зовнішнє розтягнення», зміст їх полягає у тому, що одне й те ж чітке число, відповідне абсцисі графіку, може із різним рівнем упевненості відповідати деякій ознаці – нечіткому терму. Саме так прийнято називати змістовну характеристику нечіткого числа, при цьому зовнішнє розтягнення відповідає вищим оцінкам упевненості щодо відповідності числа *x* деякій ознаці – парметру проєкту (терміни, вартість, трудомісткість). Але у контексті даного дослідження мова йде про кількість людино-годин, витрачену на одиничний обсяг робіт як про таку що перебуває в межах усередненої норми.

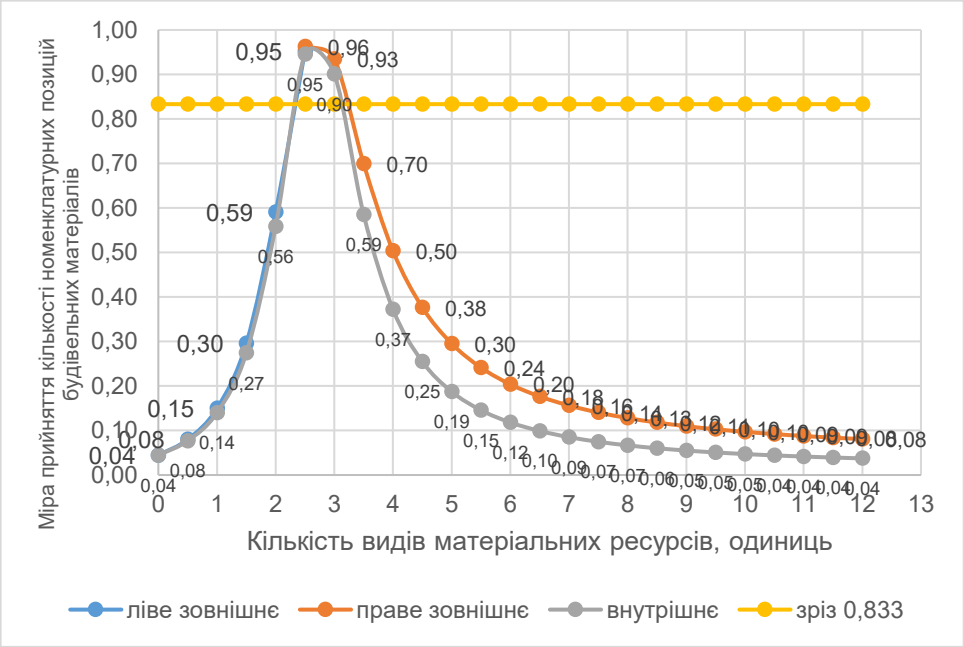


Рис. 3.3. Нечітке число 2 типу для обґрунтування потреби у будівельних матеріалах для бетонних робіт

Джерело: розроблено автором

На основі отриманих у попередньому розділі лінійних залежностей для розрахунку сподіваних витрат труда при виконання з/бетонних об'ємних конструкцій, їх армування стає можливим розрахувати сподівану трудомісткість робіт не лише як точкове значення, але і у вигляді певного інтервалу. Оскільки «традиційні» підходи, розроблені у статистичному аналізі, призводять до обґрунтування вельми широких надійних інтервалів, що передбачають охоплення чималої, понад 90 – 95%-ї варіації даних генеральної сукупності, для моніторингу обґрунтованих меж витрат труда, що не «зашкодять» якості, необхідно обґрунтувати значно вужчі інтервали волатильності. З цією метою ми пропонуємо використати аналіз співвідношень між параметрами дзвоноподібної (bell-shaped) функції належності, оскільки саме її було використано у більшості розроблених застосунків. Як відомо, такий тип функції належності дає змогу визначити міру упевненості для деякого значення універсуму, що може відхилятись від очікуваної точкової оцінки (c) у той чи інший бік, тобто це – π-подібна функція. У символьному вигляді дзвоноподібна функція належності записується так:

$$\mu = \frac{1}{1+\left(\frac{x-c}{a}\right)^{2\cdot b}}, \tag{3.1}$$

де *c* – мода нечіткого числа (тобто від очікувана точкова оцінка), в даній розробці нею буде точкова оцінка коефіцієнтів регресійних моделей трудомісткості будівельних робіт;

a – відстань від моди до точки переходу, взята за модулем, тобто модуль різниці між певним чітким числом із універсуму *x** і модою, причому для такого значення *x** результат моделі (3.1) буде рівний *0,5*;

b – параметр моделі, що визначає конфігурацію дзвоноподібного графіку, що більше *b*, тим гострішим буде вершина лінії, відповідно тим швидшим буде убування значень (3.1) по мірі віддалення *x* від *b*.

Окремо відзначимо ту особливість bell-shaped залежності, що за параметру *b=1*, тобто показника ступеню, у знаменнику, рівного *2*, залежність

має форму первісної функції арктангенсу, яку досить легко інтегрувати, особливо, якщо прикладні застосунки будуть редагуватись інженерно-технічними працівниками будівельних компаній, і для розроблення цифровізованих застосунків, замість спеціальних програмних оболонок, буде використані широко розповсюджені пакети офісних чи web-програм. Для виконання розрахунків сподіваної трудомісткості робіт доцільно коректно обґрунтувати саме параметр «*a*», яким буде обмежено «розмитість» прогнозного інтервалу витрат праці робітників, «безпечного» для якості робіт. Параметр «*a*» буде однаковим і для внутрішньої, і для зовнішньої функцій належності результативного значення трудомісткості, його кількісне значення ми обмежили, прагнучи звузити інтервал варіації параметрів регресій до 10% генеральної сукупності. Цього можна досягти, використовуючи у розрахунках інтервальні оцінки регресійних залежностей, межі яких становлять 1/3 стандартного відхилення відповідних коефіцієнтів з табл. (2.1, 2.2, 2.3). При цьому величина коефіцієнту довіри, рівна 0,333, замість табличного коефіцієнта Стюдента, що обґрунтовується за допомогою підстановки у (3.1) значень $c=0$ і $a=1$, подібно до сподівання нульової помилки середнього і деякої невеликої одиничної дисперсії у класичних статистичних розрахунках. При цьому значення (3.1) прирівнюється до $0,9$, що означає 90%-ву упевненість у стабільності витрат труда для яких найбільш імовірним буде суворе дотримання усіх вимог будівельних технологій. Шляхом розв'язку такого рівняння (3.2) встановлюється чітке значення коефіцієнту довіри, x^{**}, причому модель (3.2) носить допоміжний характер. Адже x^{**} потрібно для розрахунку параметрів a_j регресійних формул під час обґрунтування зон зміни витрат праці робітників будівельників, потрапляння у які може спричинити ризик погіршення якості будівництва.

Таким чином, допоміжна залежність для обґрунтування розтягнень нечітких чисел наступна:

$$\mu = \frac{1}{1 + \left(\frac{\mathrm{x}\,{**} - 0}{1}\right)^2} = 0{,}9 \Rightarrow \frac{1}{1 + (\mathrm{x}^{**})^2} = 0{,}9 \;\Rightarrow \mathrm{x}^{**} = \sqrt{\frac{1}{0{,}9} - 1} = \frac{1}{3} \approx 0{,}333 \qquad (3.2)$$

В силу симетричності bell-shaped функції у (3.2) доцільно обмежитись арифметичним квадратним коренем.

Звідси, власне, і стало можливим обґрунтувати звуження інтервалів варіювання параметрів регресійних моделей у такій загальній формі:

$$\mu_{\mathrm{a}_j} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\mathrm{x} - \mathrm{a}_j}{\frac{1}{3} \bullet \sigma_{\mathrm{a}_j}}\right)^2} \Rightarrow \mu_{\mathrm{a}_j} = \frac{1}{1 + 9 \bullet \left(\frac{\mathrm{x} - \mathrm{a}_j}{\sigma_{\mathrm{a}_j}}\right)^2} \qquad (3.3)$$

де a_j – точкова оцінка j-го коефіцієнту регресійних моделей трудомісткості будівельних робіт;

σ_{a_j} – стандартне відхилення відповідного (j-го) коефіцієнту регресій (табл. 2.1, 2.2, 2.3).

У наукових розробках для позначень нечітких чисел використовують скорочений запис типу $\left(\mathrm{x}; \sigma_{\mathrm{x}_L}; \sigma_{\mathrm{x}_R}\right)$, де через x позначають моду нечіткого числа, а позначки σ_{x_L} і σ_{x_R} відповідають лівому (Left) та правому (Right) розтягненням відповідно. Для обґрунтування меж трудомісткості будівельних робіт внутрішнє нечітке число ми прийняли симетричного типу, а тому обидва розтягнення будуть рівними і визначатимуться з огляду на (3.3): $\sigma_{\mathrm{a}_L} = \sigma_{\mathrm{a}_R} = \frac{\sigma_{\mathrm{a}_j}}{3}$. Відповідно нечіткий коефіцієнт регресії, обґрунтовується на основі фаззифікації тільки параметрів теоретичних моделей з урахуванням (3.3) у такий спосіб: $\left(\mathrm{a}_j; \frac{\sigma_{\mathrm{a}_j}}{3}; \frac{\sigma_{\mathrm{a}_j}}{3}\right)$. Натомість аргументи-змінні у розрахунках приймаються чіткими числами. Однак їх можна також розглядати як частковий вигляд нечіткого числа, обидва розтягнення якого дорівнюють нулеві, а саме: $(\mathrm{x}; 0; 0)$, оскільки $\sigma_{\mathrm{x}_L} = \sigma_{\mathrm{x}_R} = 0$.

Тобто у символьному вигляді для внутрішнього нечіткого числа фактори

регресійних залежностей (табл. 2.1, 2.2, 2.3) матимуть вигляд добутків, параметри яких обчислюються згідно правил множення нечітких чисел у такий спосіб:

$$\widetilde{A_{j\iota}} \bullet \widetilde{X_{j\iota}} = \left(a_j; \frac{\sigma_{a_j}}{3}; \frac{\sigma_{a_j}}{3}\right) \bullet (x_j; 0; 0) = \left(a_j \bullet x_j; \frac{\sigma_{a_j}}{3} \bullet x_j + a_j \bullet 0; \frac{\sigma_{a_j}}{3} \bullet x_j + a_j \bullet 0\right) = \left(a_j \bullet x_j; \frac{\sigma_{a_j}}{3} \bullet x_j; \frac{\sigma_{a_j}}{3} \bullet x_j\right) \quad (3.4)$$

Як видно із викладок (3.4) фаззифікований j-й коефіцієнт регресійного рівняння масштабується на значення j-го аргументу, який визначається на основі РЕКН.

Натомість зовнішнє нечітке число у розробленому нами підході має передбачено асиметричним, що забезпечується наданням нечіткості не лише регресійним коефіцієнтам, але і матеріальним, організаційним і технологічним чинникам витрат труда. Це набуває особливого значення у випадку розроблення індивідуальних кошторисних норм, або пристосування існуючих способів виконання робіт до умов конкретного будівельного майданчика і конкретних виробничих ресурсів. Оскільки кошторисні норми містять **усереднений** набір потреб у кількості будівельних матеріалів й відображають головно типові способи їх виробничого використання, на конкретному об’єкті в умовах, обмежених договірними зобов’язаннями, строків виконання робіт, за закупівель будівельних матеріалів у певного постачальника, витрати ресурсів можуть як зрости так і скоротитись. Одночасно можуть зазнати змін і кількість виконуваних операцій і номенклатура матеріалів. Адже результатом невпинного розвитку науки й техніки, вдосконалення продукції промисловості будівельних матеріалів з’являються нові, типу «все в 1», чи навпаки, практика будівництва доводить недоцільність застосування комплексних сумішей, натомість вимоги замовників можуть бути реалізованими виключно за відокремлення різних за призначенням сумішей та, відповідно додаткових виробничих дій по їх приготуванню та нанесенню, що, власне, і є зміною кількості операцій. Звичайно, досвід роботи, професійна майстерність,

відповідальність робітників-будівельників під час виконання трудових процесів також можуть не відповідати усередненому розряду, ланки робітників, передбачених таблицями РЕКН. Для обґрунтування способу побудови зовнішнього розтягнення нечіткого обсягу витрат праці, яке головно визначає зони трудомісткості, ми виходили із принципу розумної обережності, який віддає перевагу песимістичному сценарію. Тому було прийнято вищу ймовірність перевитрат матеріальних ресурсів, зростання кількості їх видів, а разом із ними й виробничих операцій, аніж економії. Для виконання розрахунків та їх подальшої цифровізації нечітке число на позначення обсягів необхідних факторів x_j визначено асиметричним із такими параметрами розтягнення: $\sigma_{x_L} = 0{,}025 \bullet x_j$; $\sigma_{x_R} = 0{,}075 \bullet x_j$. Інакше кажучи, скоріш за все, замість 5%-вих відхилень у той чи інший бік витрат ресурсів чи часу на їх обробку, варто очкувати перевитрат на 7,5%, менш імовірною буде економія, вона обмежиться тільки 2,5% нормативної потреби. Звичайно, дані обмеження не позбавлені суб'єктивного погляду, проте розроблюваний підхід без жодних ускладнень може коректуватись під час введення формування цифрових застосунків-файлів. Насамперед тоді, коли його буде реалізовано у вигляді табличних процесорів, оскільки тоді користувач зможе замінити кількісні межі варіації іншими, які будуть точнішими, з огляду на його практичний досвід.

Натомість для розряду складності робіт ми вважаємо більш ймовірною протилежну ситуацію – скоріше за все, якісні результати праці робітників будуть дещо гіршими за усереднені. Тому під час обчислення трудомісткості, разом із нормативними, доцільно розрахувати і можливі її зміни за умов виконання робіт робітниками із нижчим кваліфікаційним розрядом. Втім, вищий рівень професійної майстерності теж не виключається, хоча такий варіант є менш очікуваним. Відповідне цьому чиннику асиметричне нечітке число «віддзеркалюється», кількісні значення розтягнень міняються місцями, тобто $\sigma_{\text{Розр}_L} = 0{,}075 \bullet \text{Розр}$; $\sigma_{\text{Розр}_R} = 0{,}025 \bullet \text{Розр}$.

Таким чином для зовнішнього розтягнення розрахункової

трудомісткості одиничного обсягу робіт одержимо необхідність сумування більш складних добутків нечітких чисел, для яких недостатньо простого масштабування регресійних коефіцієнтів, оскільки, замість (3.4), одержимо для всіх факторів, окрім середнього розряду робіт:

$$\widetilde{A_{jo}} \bullet \widetilde{X_{jo}} = \left(a_j; \frac{\sigma_{a_j}}{3}; \frac{\sigma_{a_j}}{3}\right) \bullet \left(x_j; 0{,}025 \bullet x_j; 0{,}075 \bullet x_j\right) = \left(a_j \bullet x_j; \frac{\sigma_{a_j}}{3} \bullet x_j + a_j \bullet 0{,}025 \bullet x_j; \frac{\sigma_{a_j}}{3} \bullet x_j + a_j \bullet 0{,}075 \bullet x_j\right) = \left(a_j \bullet x_j; \left(\frac{\sigma_{a_j}}{3} + a_j \bullet 0{,}025\right) \bullet x_j; \left(\frac{\sigma_{a_j}}{3} + a_j \bullet 0{,}075\right) \bullet x_j\right) \quad (3.5)$$

Аналізуючи (3.5) можна помітити, що через фаззифікацію обох співмножників розтягнення, окрім простого масштабування одержали додаткову збільшувальну поправку в розмірі 2,5 чи 7,5% теоретичного значення регресійного коефіцієнта. Звичайно, більші значення параметру a дзвоноподібної функції (3.1) забезпечать менші значення її знаменника, і, відповідно міра упевненості виявиться більшою, що й необхідно для зовнішнього розтягнення.

На рис. 3.4 представлено фрагмент розрахунку трудомісткості робіт усіх залізобетонних робіт, а саме частину залежності із табл. 2.3 без урахування вільної константи.



Рис. 3.4. Нечіткі зони ризику відхилень трудомісткості для всієї нормативної сукупності

Джерело: розроблено автором

Оскільки ця модель містить тільки 1 фактор – масу номенклатурних позицій матеріалів (Ммат), з урахуванням вищезазначених обґрунтувань фаззифікації її можна представити у вигляді таких залежностей для внутрішнього ($\widetilde{\text{Троб}}_{\text{і}}$) та зовнішнього ($\widetilde{\text{Троб}}_{\text{о}}$) розтягнень:

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\text{і}} = \left(54{,}5; \frac{24{,}1}{3}; \frac{24{,}1}{3}\right) + \left(2{,}11; \frac{0{,}103}{3}; \frac{0{,}103}{3}\right) \bullet (\text{Ммат}; 0; 0), \text{ або}$$

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\text{і}} = \left(54{,}5; \frac{24{,}1}{3}; \frac{24{,}1}{3}\right) + \left(2{,}11 \bullet \text{Ммат}; \frac{0{,}103}{3} \bullet \text{Ммат}; \frac{0{,}103}{3} \bullet \text{Ммат}\right) \quad (3.6)$$

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\text{о}} = \left(54{,}5; \frac{24{,}1}{3}; \frac{24{,}1}{3}\right) + \left(2{,}11; \frac{0{,}103}{3}; \frac{0{,}103}{3}\right) \bullet (\text{Ммат}; 0{,}025 \bullet \text{Ммат}; 0{,}075 \bullet \text{Ммат}), \text{ або}$$

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\text{о}} = \left(54{,}5; \frac{24{,}1}{3}; \frac{24{,}1}{3}\right) + \left(2{,}11 \bullet \text{Ммат}; \left(\frac{0{,}103}{3} + 2{,}11 \bullet 0{,}025\right) \bullet \text{Ммат}; \left(\frac{0{,}103}{3} + 2{,}11 \bullet 0{,}075\right) \bullet \text{Ммат}\right) \Rightarrow \quad (3.7)$$

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\text{о}} = (54{,}5; 8{,}33; 8{,}33) + (2{,}11 \bullet \text{Ммат}; 0{,}09 \bullet \text{Ммат}; 0{,}19 \bullet \text{Ммат})$$

Відповідно у формулах (3.6), (3.7) представлено лише один добуток нечітких чисел і саме його відображено на графіку (рис. 3.4). Для обємних конструкцій та інших робіт зонування трудомісткості наведено на рис. 3.5-3.6.

Оскільки для обґрунтування зон трудомісткості використано лінійні залежності, то наступним кроком для обґрунтування сподіваних витрат труда і інтерпретації її впливу на параметри будівництва стане підсумовування добутків нечітких чисел та вільної константи.

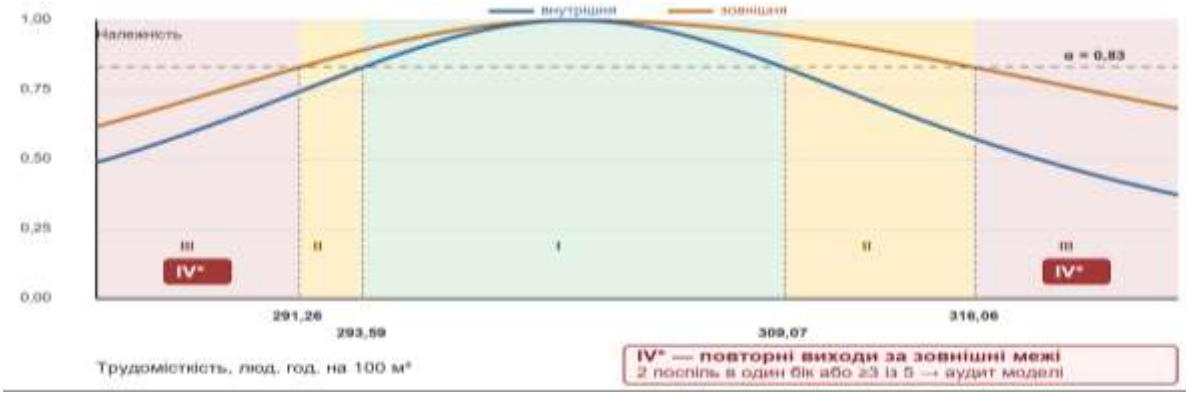


Рис. 3.5. Нечіткі зони ризику відхилень трудомісткості об'ємних залізобетонних робіт

Джерело: розроблено автором

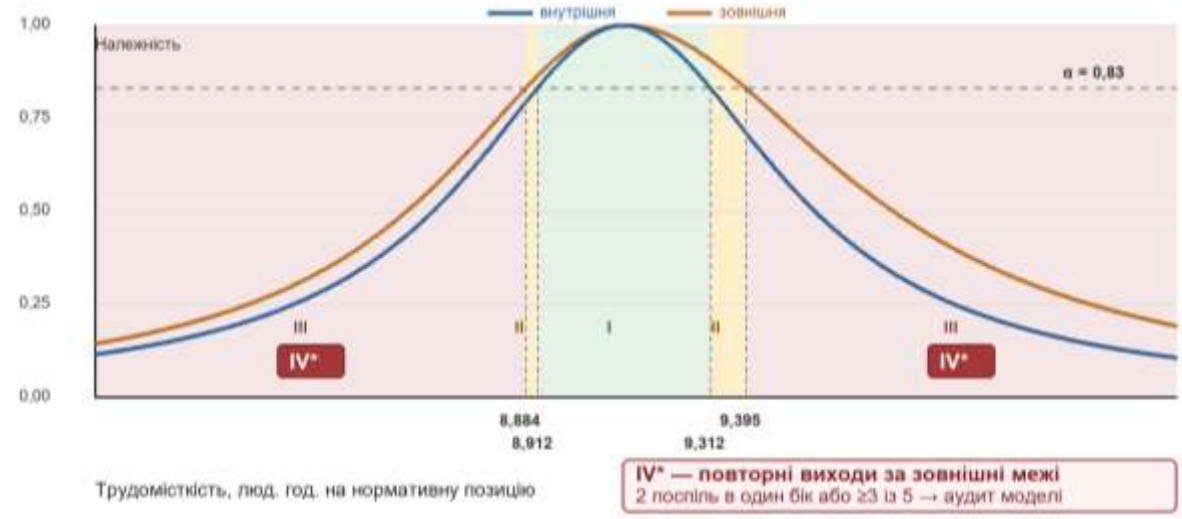


Рис. 3.6. Нечіткі зони ризику відхилень трудомісткості для групи «інші залізобетонні роботи»

Джерело: розроблено автором

Результатом додавання нечітких чисел звичайно буде нечітке число, параметри якого одержуються простим підсумовуванням відповідно модальних значень та розтягнень. Віднімання нечітких чисел, або ж додавання від'ємних супроводжується «віддзеркаленням» таких доданків, внаслідок чого складаються кількісні значення лівих розтягнень додатних із правими розтягненнями від'ємних чисел і навпаки. Для залежностей (3.6), (3.7), як і для всіх інших із табл. 2.1, 2.2, 2.3, таку процедуру не доведеться виконувати під

час обґрунтування внутрішнього нечіткого результату, оскільки всі параметри моделей симетричні. Натомість для зовнішніх розтягнень, доданки яких можуть бути як із від'ємними, так і з додатними коефіцієнтами в силу асиметричності вищевказані операції обов'язкові. Під час проектування цифровізованих застосунків, поряд із арифметичними функціями, доведеться використовувати і логічні. Зокрема, в середовищі табличних процесорів для підсумовування остаточних результатів множення факторів на регресійні коефіцієнти варто використати таку суперпозицію формул:

If(N№<0;L№+R№№;L№+L№№),

де через N№, L№, L№№, R№№ позначено адреси клітинок у яких вміщено результати розрахунку відповідно модального значення часткового регресійного добутку чи коефіцієнту, лівого розтягнення додатного добутку (коефіцієнту) – із одним знаком номеру, а також лівого й правого розтягнень від'ємного за модою числа (добутку чи коефіцієнту) – із двома значками номеру.

Для розтягнень трудомісткості бетонних робіт в силу невеликою кількості параметрів стає можливим записати аналітично параметри результату теоретичних розрахунків у такий спосіб на прикладі усіх залізобетонних робіт (формули 3.8-3.9) та інших залізобетонних робіт (формули 3.10-3.11):

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\iota} = \left(2{,}11 \bullet \text{Ммат} + 54{,}5; \frac{0{,}103 \bullet \text{Ммат} + 24{,}1}{3}; \frac{0{,}103 \bullet \text{Ммат} + 24{,}1}{3}\right), \text{ або} \quad (3.8)$$

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\iota} = (2{,}11 \bullet \text{Ммат} + 54{,}5; 0{,}03 \bullet \text{Ммат} + 8{,}33; 0{,}03 \bullet \text{Ммат} + 8{,}33)$$

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\text{о}} = (2{,}11 \bullet \text{Ммат} + 54{,}5; 0{,}09 \bullet \text{Ммат} + 8{,}33; 0{,}19 \bullet \text{Ммат} + 8{,}33) \quad (3.9)$$

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\iota} = \left(1{,}21 \bullet \text{Ммат} + 6{,}68; \frac{0{,}06 \bullet \text{Ммат} + 1{,}2}{3}; \frac{0{,}06 \bullet \text{Ммат} + 1{,}2}{3}\right), \text{ або} \quad (3.10)$$

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\iota} = (1{,}21 \bullet \text{Ммат} + 6{,}68; 0{,}02 \bullet \text{Ммат} + 0{,}4; 0{,}02 \bullet \text{Ммат} + 0{,}4)$$

$$\widetilde{\text{Троб}}_{\text{о}} = (1{,}21 \bullet \text{Ммат} + 6{,}68; 0{,}03 \bullet \text{Ммат} + 0{,}4; 0{,}09 \bullet \text{Ммат} + 0{,}4) \quad (3.11)$$

Залежності (3.8) і (3.9) , власне, і визначають нечітке число типу 2, на позначення відповідності сподіваної чи фактичної трудомісткості робіт усереднено-нормативній. Графічна інтерпретація цього числа із відповідним зонування з огляду на ризик втрати якості представлена на рис. 3.4.

Використовуючи інформацію про те, скільки номенклатурних позицій матеріалів буде застосовано під час роботи стає можливим встановити інтервал сподіваної трудомісткості одиничного обсягу робіт. Дефаззифікація результату формул (3.8), (3.9) полягає в уточненні таких витрат праці, що не спричинятиме ані надмірної втоми, ані недбалого ставлення до порівняно простих будівельних процесів. Цей інтервал пропонується визначати на рівні альфа-зрізу 0,83, що характеризує межу прийнятності як різницю між абсолютною, 100%-ю та половиною відносно незначної мінливості експертних думок. Остання співвимірна із інтервалом варіації параметру теоретичної залежності (3.2), поділеним на 2 в силу симетричності відхилень від точкової оцінки. Це не суперечить реальній ситуації, коли не може бути 100%-ї абсолютної упевненості у чіткому дотриманні теоретичних настанов, натомість цілком прийнятним є більш-менш відповідний стан практики та теоретичних обґрунтувань. Інтервал відповідний $\alpha - \text{зрізу}\, \mu_{\text{Троб}} = 0{,}833$ визначає трудомісткість робіт досягнуту при використанні 2 – 4 видів будівельних матеріалів, коли витрати труда на опорядження 100 м^2 поверхні внутрішніх приміщень становитимуть не більше 25,8–38,9 люд.-год. При цьому 38,9 – теоретичне значення витрат труда, що відповідає правій межі альфа-зрізу, 25,8 – розрахункове значення, що відповідає поправці до розтягнення зовнішньої межі нечіткого числа (3.9).

Оскільки всі моделі для з/бетонних конструкцій та їх армування – однофакторні і для їх графічної інтерпретації двовимірна система координат, подібна до рис. 3.3-3-6 також є придатною, але по осі абсцис потрібно

відкладати масу необхідних для одиничного обсягу робіт матеріалів, виробів, конструкцій

Зона I означає значення всередині внутрішнього інтервалу та звичайний режим спостереження. Зона II лежить між внутрішньою і зовнішньою межами, у попадання показників до цієї зони потрібно перевірити достимання технології, обсяги робіт і ресурси. Зона III означає окремий вихід за зовнішню межу, у такому випадку перевіряють первинні записи щодо процесу виконання робіт, сумірність, склад робіт, простої, переробки та результати технічного контролю. Зона IV – повторюваний вихід за зовнішню межу для порівнянних робіт, є зоною підвищеного ризику, після якого проводять аудит і переоцінюють усі параметри будівництва, або оцінюють саму модель. На рис. 2-4 цю зону показано червоними позначками IV* в областях зони III та окремою рамкою з правилом переходу. Зірочка означає, що цей стан настає лише після перевірки повторюваності, оскільки четверта зона не утворює нового числового проміжку на осі T, а характеризує послідовність і межі відхилень спостережень.

Як операційний тригер пропонується два послідовні перевірені виходи в один бік або щонайменше три виходи з п’яти останніх порівнянних спостережень. Це запропоноване управлінське правило може коректуватись, виходячи з частоти спостережень та меж, оцінених на окремих об’єктах. Після спрацювання отриманих даних, перевіряють помилки введення, код норми, одиницю, зміни проєкту, механізацію і склад бригади; далі заново оцінюють коефіцієнти на однорідній вибірці, розраховують залишкову помилку та калібрують межі на відкладених фактичних даних. Якщо відхилення пояснюються новою технологією, способом організації будівництва або зовнішніми впливами, притаманими окремому обєкту, то формують окрему групу або нову модель. Автоматичний «перерахунок» без встановлення причини лише закріпив би помилкові дані.

Наприклад, для об’ємних робіт верхня зовнішня межа становить 316,06 люд. год. на 100 м³. Одне перевірене значення 318 люд. год. належить до зони

III. Якщо наступна порівнянна робота також дає значення вище 316,06 люд. год. і обидва записи підтверджено, спрацьовує зона IV. При цьому не підвищують автоматично норматив трудомісткості, а спочатку з’ясовують причину систематичного розходження, після чого вирішують, чи потрібно встановити нові параметри або розробити окрему модель для змінених умов будівництва.

Проведене дослідження засвідчило, що забезпечення відповідності параметрів будівельної продукції проєктним вимогам потребує впровадження інструментів випереджувального контролю, здатних своєчасно виявляти ознаки потенційного погіршення якості ще до появи явних дефектів будівельних конструкцій. Встановлено, що одним із найбільш інформативних індикаторів дотримання технологічного процесу виступає трудомісткість виконання робіт, оскільки саме вона відображає сукупний вплив організаційних, технологічних, матеріально-технічних і кадрових чинників на результати будівельного виробництва. Будь-які істотні відхилення фактичних витрат праці від нормативно обґрунтованих значень здатні свідчити як про виникнення ризиків недостатньої якості робіт, так і про необхідність додаткових витрат часу на усунення дефектів, допущених у попередніх виробничих операціях.

Використання нечітких чисел дозволяє враховувати невизначеність реальних умов будівництва, зумовлену впливом людського фактора, особливостями організації виробництва, варіативністю якості матеріалів та мінливістю зовнішнього середовища. Це забезпечує більш адекватне відображення реальної виробничої практики та створює підґрунтя для прийняття управлінських рішень в умовах неповної визначеності.

Зонування фактичної трудомісткості будівельних робіт на основі нечітких чисел другого типу надає можливість одночасного врахування нормативного рівня витрат праці та допустимих меж їх коливання, які не спричиняють критичного погіршення якості будівельної продукції. Використання внутрішнього та зовнішнього розтягнень нечітких чисел

дозволяє сформувати систему зон контролю, що характеризують різний рівень відповідності фактичних параметрів будівництва проєктним вимогам. Такий підхід створює умови для оперативного виявлення потенційно небезпечних тенденцій та своєчасного коригування виробничих процесів.

Особливого значення набуває застосування дзвоноподібних функцій належності (bell-shaped functions), які забезпечують формування більш реалістичних інтервалів допустимих відхилень порівняно з класичними довірчими інтервалами статистичного аналізу. У результаті стає можливим перейти від жорсткого нормативного контролю до адаптивного оцінювання параметрів будівництва, орієнтованого на реальні умови виконання робіт. Обґрунтовані у роботі параметри нечіткості дають можливість розмежувати області допустимих, ризикових та критичних відхилень трудомісткості, що безпосередньо пов'язуються з імовірністю виникнення дефектів і необхідністю виконання додаткових коригувальних заходів.

Важливою перевагою запропонованого підходу є його придатність до цифровізації. Усі розроблені математичні залежності можуть бути реалізовані засобами поширених табличних процесорів або веборієнтованих програмних рішень без необхідності використання складного спеціалізованого програмного забезпечення. Це значно спрощує практичне впровадження систем моніторингу якості будівництва та створює передумови для їх використання на підприємствах різного масштабу. При цьому запропоновані параметри нечітких множин не є жорстко фіксованими та можуть коригуватися відповідно до накопиченого виробничого досвіду, особливостей конкретного будівельного об'єкта або організації будівельного процесу.

Крім зонування трудомісткості, розроблений підхід формує підґрунтя для реалізації інших елементів цифрового управління параметрами будівництва, зокрема прогнозування затримок виконання робіт, оцінювання ризиків виникнення дефектів, рейтингування виконавців та постачальників будівельних матеріалів, а також аналізу впливу організаційно-технологічних рішень на параметри будівельної продукції. У сукупності це дозволяє перейти

від традиційного контролю вже виконаних робіт до концепції випереджувального управління якістю, коли потенційні відхилення виявляються та усуваються ще на стадії їх формування.

У ході дослідження особливу увагу приділено ролі людського фактора у формуванні характеристик будівельної продукції. Обґрунтовано, що саме витрати праці виступають одним із найбільш інформативних показників стану будівельного процесу та можуть використовуватись як непрямий індикатор можливих відхилень. Запропонований підхід передбачає аналіз трудомісткості виконання робіт як інструменту раннього виявлення ризиків. Встановлено, що як надмірне скорочення трудових витрат, так і їх необґрунтоване збільшення можуть свідчити про порушення технології виконання робіт та створювати передумови для виникнення дефектів.

Для вирішення завдань моніторингу та прогнозування параметрів будівництва обґрунтовано доцільність використання математичного апарату теорії нечітких множин. Визначено, що особливістю будівельного виробництва є наявність значного рівня невизначеності, який неможливо адекватно описати виключно засобами класичної статистики. Застосування нечітких чисел другого типу дозволило сформувати підхід до опису допустимих меж зміни трудомісткості робіт з урахуванням реальних виробничих умов, професійної підготовки виконавців, особливостей матеріально-технічного забезпечення та організаційних факторів.

На основі обґрунтування теоретичного значення трудомісткості, необхідної для виконання певного виду робіт запропоновано зонування фактичної трудомісткості будівельних робіт із використанням нечітких чисел типу 2, параметри яких обґрунтовано на основі коефіцієнтів регресіїних рівнянь і обґрунтованого звуження їх надійних інтервалів до 1/3 сигми. Для зовнішнього розтягнення запропоновано фаззифікацію аргументів емпіричних формул на основі асиметричних нечітких множин, що пояснюється пріоритетністю песимістичного сценарію реалізації будівельних проектів.

Запропоновані моделі забезпечують можливість формування зон прийнятних, ризикових і критичних значень параметрів будівництва (на прикладі трудомісткості), що створює наукову основу для побудови цифрових систем підтримки управлінських рішень.

Застосування теорії нечітких множин для цифрового управління параметрами будівництва забезпечує можливість формалізації невизначеності, характерної для будівельного виробництва, та створює науково обґрунтований інструментарій моніторингу дотримання проєктних вимог. Запропоновані моделі дозволяють оцінювати ризики погіршення якості за непрямими ознаками, насамперед через аналіз трудомісткості робіт, і можуть слугувати основою для побудови сучасних цифрових систем підтримки управлінських рішень у будівництві.

Важливим чинником трансформації ризик-менеджменту в будівельній сфері є процес цифровізації, що супроводжується активним впровадженням технологій інформаційного моделювання будівель (BIM), систем планування ресурсів підприємства (ERP), Інтернету речей (iot), аналітики великих даних (Big Data) та інструментів штучного інтелекту [114, 199].

Використання цифрових рішень сприяє підвищенню рівня інформаційної прозорості, забезпечує оперативне отримання та обробку даних, удосконалює механізми контролю за виконанням будівельних процесів і розширює можливості прогнозування потенційних ризикових подій. Водночас поширення цифрових технологій супроводжується виникненням нових ризиків, серед яких особливе значення мають кіберзагрози, порушення цілісності інформаційних ресурсів, технічна несумісність програмних платформ, а також недостатній рівень цифрових компетентностей працівників [200, 201].

За цих умов пріоритетного значення набуває формування інтегрованої системи управління ризиками, орієнтованої на поєднання організаційних, технічних та інформаційно-аналітичних інструментів управління. Така система повинна забезпечувати своєчасне виявлення та оцінювання ризиків,

обґрунтування управлінських рішень щодо їх мінімізації, підвищення адаптивності будівельної організації до змін зовнішнього середовища і створення передумов для ефективної реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах цифрової трансформації економіки.

В умовах розвитку цифрової економіки та трансформації будівельної галузі система управління ризиками інвестиційно-будівельного проєкту набуває особливого значення. Реалізація інвестиційно-будівельних проєктів завжди супроводжується значною невизначеністю, зумовленою тривалими термінами виконання робіт, великою кількістю учасників, залежністю від зовнішнього середовища та необхідністю залучення значних фінансових ресурсів. За таких умов ризики можуть впливати на вартість, строки реалізації, якість виконання робіт та досягнення запланованих результатів проєкту. Цифровізація відкриває нові можливості для своєчасного виявлення, оцінювання та мінімізації ризикових факторів, що сприяє підвищенню ефективності управління економічними параметрами будівництва.

3.4. Практичні рекомендації щодо впровадження цифрового інструментарію управління інвестиційно-будівельними проєктами у навчальний процес КНУБА

Сучасний ринок праці висуває нові вимоги до професійних компетентностей випускників закладів вищої освіти, серед яких особливого значення набувають навички використання BIM-технологій, цифрових платформ управління проєктами, аналітичних систем підтримки прийняття рішень та інструментів оброблення великих масивів даних. У зв'язку з цим актуальним завданням є інтеграція цифрового інструментарію управління інвестиційно-будівельними проєктами у навчальний процес з метою формування у здобувачів освіти сучасних професійних компетентностей, необхідних для роботи в умовах цифрової економіки.

У цьому контексті Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА) виступає одним із провідних центрів впровадження

BIM-технологій в освітній процес, забезпечуючи формування сучасних цифрових компетентностей майбутніх архітекторів, інженерів та менеджерів будівельних проєктів.

Одним із першочергових завдань є оновлення змісту освітніх програм економічного, управлінського та будівельного спрямування шляхом включення дисциплін, орієнтованих на цифрову трансформацію інвестиційно-будівельної діяльності. При цьому цифрові технології мають розглядатися не як окремий технічний інструмент, а як складова системи економічного оцінювання та управління протягом усього життєвого циклу об'єкта будівництва.

Одним із найважливіших напрямів впровадження цифрового інструментарію є розширення практичної складової освітнього процесу. Традиційні форми навчання доцільно доповнювати практичними кейсами, що базуються на реальних інвестиційно-будівельних проєктах.

З цією метою рекомендується:

- створити університетське цифрове середовище управління;
- використовувати реальні BIM-моделі будівельних об'єктів;
- впровадити проєктне навчання на основі міждисциплінарних команд;
- організувати студентські проєктні офіси;
- проводити ділові ігри та симуляції.

У КНУБА реалізується підготовка фахівців із BIM-технологій, а в навчальний процес інтегровані сучасні програмні комплекси Archicad, BIMCloud, BIMplus, Allplan та інші цифрові інструменти інформаційного моделювання. Але практичні завдання мають передбачати не лише розроблення проєктних рішень, але й управління їх економічними параметрами, зокрема витратами, ресурсами, строками реалізації та ризиками.

Враховуючи світові тенденції розвитку будівельної галузі, BIM-технології можуть стати базовим інструментом цифровізації освітнього процесу в КНУБА. Інтеграція BIM у навчання дозволяє створити єдиний інформаційний простір, у межах якого студенти різних спеціальностей

працюють над одним проєктом, виконуючи функції архітекторів, конструкторів, кошторисників, економістів та менеджерів проєкту.

Ефективне впровадження цифрового інструментарію неможливе без активної взаємодії університету з представниками будівельної галузі. КНУБА наразі розширює співпрацю із будівельними компаніями, девелоперськими структурами, проєктними організаціями та постачальниками, з метою працевлаштування та навчення студентів.

Основними формами такої співпраці є:

- спільні освітні та наукові проєкти;
- проведення гостьових лекцій;
- організація виробничих практик;
- створення навчально-наукових лабораторій;
- сертифікаційні програми з BIM та цифрового управління проєктами.

Залучення роботодавців до освітнього процесу сприяє актуалізації змісту навчання відповідно до реальних потреб ринку.

В Україні позитивні результати цифрової трансформації проєктної діяльності пов'язані з поступовим впровадженням BIM-технологій у проєктуванні об'єктів цивільного та інфраструктурного призначення, а також із розвитком Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДЕССБ). Використання цифрових інструментів дозволяє автоматизувати окремі етапи погодження проєктної документації, підвищити прозорість процесів управління будівництвом і створює підґрунтя для переходу до комплексного цифрового управління інвестиційно-будівельними проєктами.

Важливим напрямом є інтеграція цифрового інструментарію в наукову діяльність здобувачів освіти. Тематика кваліфікаційних робіт у останні роки часто пов'язана з питаннями цифрової трансформації будівельної галузі, управління життєвим циклом об'єктів, цифрового моніторингу проєктів, впровадження BIM-технологій та економічного оцінювання результатів цифровізації.

Таким чином, впровадження цифрового інструментарію управління

інвестиційно-будівельними проєктами у навчальний процес КНУБА повинно здійснюватися комплексно та охоплювати зміст освітніх програм, методи навчання, програмне забезпечення, науково-дослідну роботу та взаємодію з роботодавцями. Основою такої трансформації мають стати BIM-технології, цифрові платформи управління проєктами, аналітичні системи підтримки прийняття рішень і технології цифрових двійників.

Реалізація запропонованих заходів сприятиме підготовці висококваліфікованих фахівців нового покоління, здатних ефективно управляти інвестиційно-будівельними проєктами в умовах цифрової економіки, а також посиленню позицій КНУБА як провідного науково-освітнього центру цифрової трансформації будівельної галузі України.

Сьогодні в університеті вже впроваджено сучасні інформаційні технології в освітній та науковій діяльності, реалізуються міждисциплінарні BIM-проєкти та функціонує лабораторія інформаційного моделювання будівель і споруд, створена в межах міжнародного проєкту Erasmus+ BRIDGE. Зазначений досвід свідчить про поступовий перехід до цифрових моделей та підтверджує перспективність подальшого розвитку цифрових механізмів управління інвестиційно-будівельними проєктами.

Важливим етапом розвитку цифрової освіти в університеті стало впровадження спеціалізованих навчальних курсів і освітніх програм, присвячених будівельно-архітектурному інформаційному моделюванню. У навчальному процесі використовуються сучасні програмні комплекси Archicad, BIMCloud, BIMplus, Allplan та інші платформи, що відповідають міжнародним стандартам BIM-проєктування. Це дозволяє студентам отримувати не лише теоретичні знання, а й практичний досвід роботи з програмними продуктами, які широко застосовуються в професійній діяльності проєктних і будівельних компаній.

Водночас впровадження BIM у КНУБА виходить за межі навчального процесу та поступово стає основою розвитку наукових досліджень у сфері цифрової трансформації будівництва. BIM-моделі використовуються для

дослідження енергоефективності будівель, оптимізації конструктивних рішень, оцінювання вартості проєктів, моделювання життєвого циклу об'єктів та розроблення цифрових двійників. Це створює умови для інтеграції освіти, науки та практики, що відповідає сучасним тенденціям розвитку будівельної галузі.

Таким чином, BIM-технології суттєво трансформують систему підготовки фахівців у КНУБА, переводячи її від дисциплінарного підходу до цифрового середовища комплексного проєктування та управління будівельними проєктами. Формування навичок роботи з інформаційними моделями, участь у міждисциплінарних командах, використання сучасного програмного забезпечення та залучення до практикоорієнтованих досліджень сприяють підготовці конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно працювати в умовах цифрової трансформації інвестиційно-будівельної діяльності.

Висновки до розділу 3

Досліджено прикладні аспекти використання цифрового інструментарію в управлінні економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів та обґрунтовано напрями підвищення ефективності будівництва в умовах цифрової трансформації галузі.

Установлено, що найбільший вплив на вартість, терміни реалізації, трудомісткість та рівень ризиків проєкту здійснюється на ранніх стадіях життєвого циклу об’єкта. Доведено існування оберненої залежності між можливістю внесення змін до проєкту та вартістю їх реалізації, оскільки у процесі переходу від стадії до стадії можливості впливу на економічні параметри суттєво зменшуються, тоді як вартість коригування проєктних рішень постійно зростає. У зв’язку з цим обґрунтовано визначальну роль стадії проєктування, на якій формується переважна частина майбутніх параметрів майбутнього об’єкта будівництва.

Розроблено концептуальну модель цифрового управління економічними параметрами проєктів на різних етапах життєвого циклу об’єкта, яка поєднує блок цифрових даних та інформаційного середовища, блок оцінювання економічних параметрів будівництва, блок оцінювання цифрової зрілості учасників проєкту, систему оцінювання ризиків на основі теорії нечітких множин, систему управління ризиками та інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень. Особливістю запропонованої моделі є інтеграція BIM, GIS, IoT, ERP, CDE, Digital Twin, технологій Big Data та інструментів штучного інтелекту в єдиний цифровий контур управління, що забезпечує наскрізний моніторинг економічних параметрів будівництва та підтримку прийняття управлінських рішень у режимі реального часу.

Обґрунтовано, що необхідною передумовою формування ефективної системи управління ризиками є удосконалення процесу проєктування на основі цифрових технологій та інтегрованих організаційних моделей. Визначено, що найбільш перспективними напрямами розвитку проєктної діяльності є впровадження BIM-технологій, багатоваріантного проєктування, інтегрованих моделей, цифровізація проєктної документації, використання принципів параметричного проєктування та раннього залучення основних стейкхолдерів. Встановлено, що застосування зазначених підходів сприяє зниженню витрат, скороченню тривалості інвестиційного циклу, підвищенню якості проєктних рішень та мінімізації ризиків, пов’язаних із реалізацією будівельних проєктів.

Удосконалено підхід до цифрового управління ризиками будівництва на основі використання теорії нечітких множин. Встановлено, що методи кількісної оцінки ризиків не завжди дозволяють адекватно врахувати невизначеність, характерну для будівельного виробництва, особливо в умовах воєнних загроз, нестабільності ринку, кадрового дефіциту та цифрової трансформації галузі, у зв’язку з чим запропоновано застосування нечітких функцій належності для формалізації невизначеності та оцінювання ризику.

Доведено доцільність використання трудомісткості будівельних робіт як одного з ключових індикаторів контролю ризику відхилень параметрів будівельної продукції. Запропоновано методичний підхід до зонування фактичної трудомісткості робіт на основі нечітких множин, що дозволяє виділяти допустимі, ризикові та критичні зони відхилень і своєчасно виявляти потенційні проблеми в організації будівельного процесу. Розроблені математичні моделі створюють підґрунтя для впровадження систем випереджувального контролю якості, прогнозування затримок виконання робіт, а також побудови цифрових систем моніторингу ризиків будівництва.

Запропоновані підходи можуть бути використані девелоперськими компаніями, замовниками, проєктними організаціями та підрядними підприємствами для підвищення рівня обґрунтованості управлінських рішень і забезпечення досягнення цільових параметрів будівництва.

Визначено напрями впровадження цифрового інструментарію управління інвестиційно-будівельними проєктами в освітній процес КНУБА, зокрема шляхом інтеграції BIM-технологій, цифрових двійників, аналітичних платформ, систем підтримки прийняття рішень та практикоорієнтованих цифрових кейсів у навчальні програми. Реалізація запропонованих рекомендацій сприятиме формуванню сучасних цифрових компетентностей у здобувачів освіти та підготовці фахівців, здатних ефективно працювати в умовах цифрової трансформації будівельної галузі.

Результати дослідження підтверджують, що застосування комплексного цифрового інструментарію, заснованого на інтеграції інформаційного моделювання, економіко-математичних методів, технологій штучного інтелекту та інструментів нечітко-множинного аналізу, створює передумови для підвищення ефективності управління інвестиційно-будівельними проєктами, забезпечення більш високого рівня прогнозованості їх результатів, мінімізації ризиків та підвищення конкурентоспроможності учасників будівельного ринку в умовах цифрової економіки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено важливе наукове завдання, яке полягає в теоретичному обґрунтуванні та розробленні методичного забезпечення формування цифрового інструментарію управління економічними параметрами будівництва на основі інтеграції економіко-математичного моделювання, технологій цифрового будівництва та ризик-орієнтованого підходу в умовах невизначеності.

Практичне значення розв’язаного завдання полягає у створенні комплексу методів, моделей та інструментів, які забезпечують підвищення ефективності управління вартістю, тривалістю, трудомісткістю, ресурсним забезпеченням і ризиками інвестиційно-будівельних проєктів, сприяючи обґрунтованому прийняттю управлінських рішень, підвищенню рівня цифрової зрілості учасників будівництва та забезпеченню досягнення цільових економічних показників протягом усього життєвого циклу будівельного проєкту.

1. Дослідження теоретичних засад цифровізації діяльності будівельних підприємств дало змогу встановити, що цифровізація є одним із ключових напрямів трансформації будівельної галузі, який забезпечує підвищення ефективності управлінських процесів, конкурентоспроможності підприємств та результативності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, передбачає інтеграцію сучасних інформаційно-комунікаційних технологій у всі стадії життєвого циклу об'єкта будівництва, починаючи від проєктування та планування і завершуючи експлуатацією та обслуговуванням. Їх використання сприяє підвищенню точності управлінських рішень, скороченню витрат, покращенню координації між учасниками будівництва та мінімізації ризиків, пов'язаних із реалізацією проєктів. Встановлено, що сучасні наукові підходи до цифровізації будівництва здебільшого зосереджені на технічних аспектах упровадження цифрових технологій, тоді як недостатньо уваги приділяється питанням комплексного врахування впливу цифрових інструментів на економічні параметри проєктів, що підтвердило актуальність дослідження та

дозволило сформувати теоретичне підґрунтя для подальшої розробки методичного забезпечення цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, а також необхідність створення комплексного цифрового інструментарію, здатного забезпечити інтеграцію сучасних цифрових технологій, економіко-математичних методів та механізмів управління ризиками в єдину систему підтримки управлінських рішень.

2. Досліджено і систематизовано сучасні цифрові технології, які застосовуються для управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів, визначено їх роль у підвищенні ефективності процесів планування, реалізації й контролю будівництва. Встановлено, що цифрове середовище інвестиційно-будівельних проєктів формується завдяки поєднанню технологій інформаційного моделювання будівель (BIM), які використовуються на різних етапах життєвого циклу об’єкту і займають центральне місце серед сучасних цифрових технологій займають, забезпечують інтеграцію технічних, організаційних і економічних характеристик об’єкта в єдиній цифровій моделі, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг ключових економічних параметрів проєкту, оперативно виявляти відхилення та оцінювати наслідки управлінських рішень ще на етапі їх планування.

Результати дослідження підтвердили, що впровадження BIM-технологій є не лише інструментом цифровізації будівельної діяльності, а й важливим фактором підвищення економічної ефективності інвестиційно-будівельних проєктів, а економічні переваги впровадження BIM-технологій проявляються на всіх стадіях життєвого циклу об’єкта будівництва. На етапі проєктування вони забезпечують підвищення точності кошторисних розрахунків, скорочення кількості проєктних помилок і зменшення витрат, пов’язаних із доопрацюванням проєктної документації. На етапі будівництва BIM-технології сприяють оптимізації використання матеріальних, трудових і фінансових ресурсів, підвищенню продуктивності робіт, покращенню

координації між учасниками проєкту та зменшенню ризиків перевищення бюджету і термінів реалізації. На стадії експлуатації цифрова модель об'єкта забезпечує ефективніше управління активами, планування ремонтних заходів і зниження експлуатаційних витрат протягом усього життєвого циклу будівлі.

3. Проаналізовано економічну сутність та особливості управління інвестиційно-будівельними проєктами в умовах цифровізації, у результаті чого встановлено, що цифровізація виступає не лише технологічним напрямом модернізації будівництва, а й важливим чинником підвищення ефективності управління економічними параметрами проєктів, забезпечуючи якісно новий рівень інформаційної взаємодії між усіма учасниками інвестиційно-будівельного процесу.

Отримані результати дозволили сформувати теоретичне підґрунтя для подальшого розроблення науково-методичного забезпечення управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів. З урахуванням виявлених особливостей і закономірностей цифровізації було обґрунтовано необхідність формування спеціальної методики дослідження, яка забезпечує комплексний підхід до вивчення проблематики та поєднує теоретичний, методичний і прикладний рівні наукового аналізу. Запропонована методика визначає послідовність етапів дослідження, перелік завдань, інформаційну основу та методичний інструментарій, що створює необхідні передумови для розроблення цифрових моделей і практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності управління інвестиційно-будівельними проєктами в умовах цифрової економіки.

4. Здійснено статистичне оцінювання основних параметрів монолітних залізобетонних робіт, які обрано у якості бази для статистичного аналізу й моделювання, оскільки вони характеризується значним рівнем структурної однорідності, наявністю спільних технологічних операцій, подібних факторів впливу на параметри будівництва та уніфікованих процедур виробничого контролю, оскільки 82,18% усіх норм мають об'ємний вимірник, а 65,43% номенклатурних позицій безпосередньо пов'язані з виготовленням

конструктивних елементів із бетону та залізобетону. Виявлено, що найбільш поширеною групою є роботи з улаштування монолітних залізобетонних конструкцій, частка яких становить 44,68% загальної кількості норм та 68,3% усіх норм, що характеризують процес створення конструктивних елементів, а також може бути описана системою взаємопов’язаних параметрів, до яких належать геометричні характеристики конструкцій, обсяги виконаних робіт, показники якості бетонної суміші та затверділого бетону, параметри армування, а також характеристики дотримання технологічного процесу. Відносна однорідність монолітних залізобетонних робіт, їх поширеність у сучасному будівництві та значний рівень формалізації контрольованих параметрів створюють наукові передумови для розроблення універсальних цифрових інструментів та економіко-математичного моделювання їх параметрів, здатних забезпечити об’єктивне оцінювання відповідності фактичних характеристик будівельної продукції проєктним вимогам протягом усього життєвого циклу будівельного процесу.

5. Створено комплекс економіко-математичних моделей управління параметрами будівництва монолітних залізобетонних конструкцій. Виявлено, що трудомісткість робіт є інтегральним показником, який відображає вплив організаційних, матеріально-технічних, технологічних та кадрових факторів на параметри будівельної продукції. Запропонований підхід дозволив формалізувати взаємозв'язок між нормативними та фактичними витратами праці робітників і якісними характеристиками будівельних конструкцій. Найбільш істотний зв’язок зафіксовано між трудомісткістю виконання робіт та масою використаних будівельних матеріалів. Для загальної сукупності монолітних залізобетонних робіт коефіцієнт кореляції між зазначеними показниками становить 0,7283, для робіт з об’ємним вимірником – 0,7076, а для допоміжних залізобетонних процесів досягає 0,8951. Крім того, для площинних конструкцій встановлено наявність оберненого зв’язку між середнім розрядом складності робіт і кількістю технологічних операцій, що може свідчити про певний компенсаційний механізм між кваліфікаційним

рівнем виконавців та складністю організації виробничого процесу. Проведений регресійний аналіз показав, що для практичних завдань прогнозування та контролю трудових витрат найбільш доцільним є використання однофакторних моделей, у яких незалежною змінною виступає маса будівельних матеріалів. Незважаючи на відносну простоту таких моделей, вони забезпечують достатньо високий рівень адекватності опису досліджуваних процесів та характеризуються статистично значущими значеннями критерію Фішера. Зокрема, для всієї сукупності монолітних залізобетонних робіт коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,530$, тобто понад 53% варіації трудомісткості пояснюється зміною маси матеріальних ресурсів. Для робіт з об'ємним вимірником цей показник дорівнює $R^2 = 0,501$, що також свідчить про достатній рівень пояснювальної здатності моделі. Найкращі результати отримано для групи допоміжних залізобетонних робіт, де коефіцієнт детермінації досяг $R^2 = 0,801$, підтверджуючи високий ступінь впливу матеріаломісткості на формування трудових витрат у зазначених виробничих процесах. Таким чином, маса будівельних матеріалів може розглядатися як один із найбільш інформативних параметрів для прогнозування трудомісткості та побудови цифрових моделей моніторингу виконання монолітних залізобетонних робіт.

6. Здійсннено SWOT-аналіз можливостей цифровізації підрядних підприємств, який засвідчив, що впровадження цифрових технологій створює передумови для підвищення ефективності управління будівельними процесами, покращення координації учасників проєкту, оптимізації використання ресурсів, скорочення витрат і термінів виконання робіт. Водночас виявлено основні стримувальні чинники цифрової трансформації, зокрема недостатній рівень цифрових компетентностей персоналу, обмеженість фінансових ресурсів, низький рівень інтеграції інформаційних систем та ризики інформаційної безпеки. На основі проведеного аналізу ідентифіковано ключові фактори цифрової зрілості учасників будівництва, до яких віднесено рівень впровадження BIM-технологій, цифрові компетентності

персоналу, автоматизацію бізнес-процесів, інтеграцію та управління даними, цифрову комунікацію, кібербезпеку, цифрове управління ризиками, використання технологій Industry 4.0, управлінську підтримку цифровізації, цифрову інфраструктуру, інноваційну активність і цифрову культуру організації. Сформована система факторів створює методичне підґрунтя для комплексного оцінювання цифрової зрілості учасників інвестиційно-будівельних проєктів та обґрунтування напрямів їх подальшого цифрового розвитку.

7. Розроблено концептуальну модель цифрового управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів на різних етапах життєвого циклу об’єкта будівництва. Запропонована модель поєднує цифрове інформаційне середовище, комплекс економіко-математичних моделей, систему оцінювання ризиків на основі методів нечітких множин, механізми управління ризиками та інструменти оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва. Особливістю моделі є інтеграція даних BIM, GIS, IoT, ERP, CDE та Digital Twin із процедурами аналізу економічних параметрів і ризиків для забезпечення обґрунтованого прийняття управлінських рішень. Обґрунтовано, що застосування методів нечіткої логіки, Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy DEMATEL та нечітких когнітивних карт дозволяє враховувати невизначеність і складність ризиків будівельних проєктів, зокрема бюджетних, часових, технологічних, кадрових, екологічних, воєнних та ризиків цифровізації. Запропонований підхід забезпечує формування інформаційної основи для своєчасної ідентифікації ризиків та вибору ефективних стратегій реагування. Встановлено, що оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва є важливою передумовою ефективного використання цифрових технологій та досягнення цільових економічних параметрів проєкту. Реалізація моделі сприяє підвищенню точності прогнозування вартості та строків будівництва, зниженню впливу ризиків, удосконаленню координації між учасниками проєкту та створює підґрунтя для

впровадження інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень у сфері будівництва.

8. Досліджено сучасні підходи до організації та управління процесом проєктування в інвестиційно-будівельних проєктах та обґрунтовано його визначальну роль у формуванні ефективної системи управління ризиками. Встановлено, що основна частина технічних, організаційних, часових та економічних ризиків закладається саме на стадії проєктування, де формуються ключові параметри майбутнього об'єкта будівництва. На основі аналізу вітчизняного та міжнародного досвіду визначено пріоритетні напрями вдосконалення процесу проєктування: інтеграцію проєктування і будівництва, розвиток контрактних механізмів взаємодії учасників проєкту, застосування моделей Design-Build та Lean Construction, впровадження BIM-технологій, параметричного та багатоваріантного проєктування, цифровізацію проєктної документації та раннє залучення стейкхолдерів до процесу прийняття рішень. Доведено, що використання цифрових технологій та інтегрованих моделей управління дозволяє підвищити якість проєктних рішень, скоротити тривалість інвестиційного циклу, зменшити кількість проєктних колізій і переробок, а також створити інформаційну основу для своєчасної ідентифікації та оцінювання ризиків. Обґрунтовано, що удосконалення процесу проєктування має розглядатися як необхідна передумова побудови ризик-орієнтованої системи цифрового управління інвестиційно-будівельними проєктами протягом усього їх життєвого циклу.

9. Обґрунтовано цифровий інструментарій управління ризиками відхилень параметрів будівництва на основі теорії нечітких множин Встановлено, що отримані регресійні залежності створюють підґрунтя для переходу від точкового прогнозування трудових витрат до інтервального оцінювання їх допустимих значень. На відміну від статистичних підходів, які передбачають побудову довірчих інтервалів, що характеризуються надмірною шириною для задач оперативного виробничого контролю, запропоновано використовувати апарат нечітких множин і параметри дзвоноподібної (bell-

shaped) функції належності для визначення раціональних меж волатильності параметрів будівництва (на прикладі трудомісткості). Такий підхід дозволяє оцінювати не лише очікуване значення трудових витрат, але й встановлювати інтервал їх допустимих коливань, який відповідає умовам забезпечення заданих параметрів будівельних робіт без створення ризиків надмірної інтенсифікації праці або, навпаки, її недостатньої продуктивності. Запропоновано здійснювати дефаззифікацію результатів на рівні альфа-зрізу $\alpha = 0{,}83$, який інтерпретується як межа практичної прийнятності між теоретично обґрунтованими параметрами будівельного процесу та неминучою мінливістю реальних виробничих умов, що надає можливість формалізувати допустимий діапазон трудових витрат з урахуванням нечіткості експертних оцінок та особливостей технологічного виконання робіт. У результаті для кожного виду робіт стає можливим визначення інтервалу очікуваної трудомісткості залежно від маси та номенклатури використаних матеріальних ресурсів.

Практична апробація підходу показала, що за використання 2–4 номенклатурних позицій будівельних матеріалів трудомісткість опорядження 100 м² поверхні внутрішніх приміщень повинна перебувати в межах 25,8–38,9 люд.-год., де верхня межа відповідає правій границі альфа-зрізу нечіткого числа, а нижня враховує поправку на розтягнення його зовнішньої межі. Отриманий результат демонструє можливість встановлення обґрунтованих нормативних інтервалів трудових витрат, які можуть застосовуватись для виявлення відхилень у виконанні робіт та своєчасної ідентифікації потенційних ризиків погіршення параметрів будівельної продукції.

Результатом удосконаленого підходу стало розроблення меж зонування фактичних витрат праці за ступенем ризику відхилення параметрів будівельної продукції від проєктних вимог, що створює можливість своєчасного виявлення критичних змін у перебігу будівельних процесів та прийняття коригувальних управлінських рішень до моменту появи дефектів або порушення встановлених строків виконання робіт.

10. За результатами дослідження запропоновано практичні рекомендації щодо впровадження отриманих результатів в освітній процес закладів вищої освіти будівельного профілю, які передбачають використання розроблених методичних підходів, моделей та інструментів оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва під час викладання дисциплін, пов’язаних із цифровою трансформацією, управлінням будівельними проєктами, BIM-технологіями та цифровим розвитком підприємств, що сприятиме формуванню цифрових компетентностей майбутніх фахівців будівельної галузі.

11. Перспективи подальших досліджень пов’язані з удосконаленням методичного забезпечення оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва на основі використання технологій штучного інтелекту, формалізація показників її оцінювання, розробленням моделей прогнозування впливу рівня цифрової зрілості на результати будівництва протягом усього життєвого циклу об’єкта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tugai O.A., Hryhorovskyi P.Ye., Khyzhniak V.O., Stetsenko S.P., Bielienkova O.Yu., Molodid O.S., Chernyshev D.O. Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. 136 p.

2. Чобіток В., Гавриш О. Цифрові технології як основні інструменти трансформації бізнесу в умовах глобалізації. *Modeling the development of the economic systems*. 2025. Вип. 1. С. 281–287. https://doi.org/10.31891/mdes/2025-15-37

3. Дубінін Д. В. Цифрова трансформація українських будівельних та проектних підприємств: перешкоди та можливості. *Управління розвитком складних систем*. 2023. № 56. С. 131–137. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.131-137

4. Фісуненко П.А., Євтушенко І.А. Цифровізація в будівництві: аналітичний огляд та потенційний вплив на ефективність маркетингу девелоперів. *Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія Економіка*. 2026. №1. С. 161-166. https://doi.org/10.32782/ecovis/2026-1-23

5. Фісуненко П. А., Вакулич М. М. Аналіз стану інвестиційного клімату України крізь призму проєктування в сфері реконструкції житлового фонду: перспективи в умовах ревіталізації економіки. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. № 53(2). С. 205–222. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(2).205-222

6. Ahmoye D., Sjödin E., Blanco J., Mawji A., Winslade M., Rogers P. How *AI is reshaping the future of the AEC industry*. McKinsey & Company. 2026. 15 July. URL: https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/how-ai-is-reshaping-the-future-of-the-aec-industry (дата звернення: 24.08.2026)

7. Bharadwaj A., El Sawy O. A., Pavlou P. A., Venkatraman N. Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. *MIS Quarterly*. 2013. Vol. 37, №. 2. P. 471-482. https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37:2.3

8. Westerman G., Bonnet D., McAfee A. *Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation.* Boston: Harvard Business Review Press, 2014. 272 p.

9. Дубінін Д., Чертков О. Організаційні аспекти цифрової трансформації процесів будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2024, 54(1), 172–182. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).172-182

10. Nguyen T. D., Adhikari S. The Role of BIM in Integrating Digital Twin in Building Construction: A Literature Review. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 13. Art. 10462. https://doi.org/10.3390/su151310462

11. Sepasgozar S. M. E., Khan A. A., Smith K., Romero J. G., Shen X., Shirowzhan S., Li H., Tahmasebinia F. BIM and Digital Twin for Developing Convergence Technologies as Future of Digital Construction. *Buildings*. 2023. Vol. 13, No. 2. Art. 441. https://doi.org/10.3390/buildings13020441

12. Omrany H., Al-Obaidi K. M., Husain A., Ghaffarianhoseini A. Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 14. Art. 10908. https://doi.org/10.3390/su151410908

13. Mahajan G., Narkhede P. Integrating BIM with Digital Technology Trends in the Construction Industry: Implementation Insights for 2023. *Library Progress International*. 2024. Vol. 44, No. 3. https://doi.org/10.48165/bapas.2024.44.2.1

14. Вахович І., Дем'яненко О., Дубінін Д. Методичні та практичні підходи і принципи впровадження BIM-технологій у діяльність учасників будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2023, 51(1), 290–299. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51(1).290-299

15. Вахович І. В., Дем’яненко О. О., Богатюк Д. В. Реінжиніринг діяльності учасників будівництва під впливом цифровізації. *Просторовий розвиток.* 2023. № 6. С. 338–350. https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.338-350

16. Рогожин П.С., Гойко А.Ф. Економіка будівельних організацій. К.: Видавничий дім "Скарби", 2001. 448 с.

17. Федоренко В.Г., Гойко А.Ф. Інвестознавство: підручник / наук.ред. В.Г. Федоренко; Міжрегіональна Академія управління персоналом (МАУП). К.: МАУП, 2004. 408 с.

18. Конкурентоспроможність будівельної організації – основа виживання економіки: монографія / Савенко В.І. та ін.. Київ: ЦУЛ, 2017. 128 с.

19. Кіщенко Т.Є., Гусарова Л.В. Особливості девелопменту в реалізації інвестиційних проектів будівництва об’єктів різного функціонального призначення. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин.* 2018. Вип. 36, економічний. С. 22–26. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2018.36.22-26

20. Поповиченко І., Грабчак Д., Кривущенко С., Герасимчук Я., Овсяник М. Комплексний вплив фаз життєвого циклу будівельних проєктів на результативність управління інноваційними стратегіями суб’єктів будівельного ринку. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. №53(2). С. 174–189. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(2).174-189

21. Бєлєнкова О., Дубінін Д., Калашніков Д. Цифрова трансформація будівництва і девелопменту територій як імператив формування стратегій учасників будівельного процесу. *Містобудування та територіальне планування*, 2022, (81), 13–22. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.81.13-22

22. Бєлєнкова О. Ю., Галунка О. Ю., Мацапура О. В. Цільові пріоритети та формалізований інструментарій трансформації системи управління інноваційним розвитком учасників інвестиційних проєктів та програм. *Економіка та суспільство*. 2025. № 71. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-130

23. Бєлєнкова О.Ю., Шаоцин Гао. Оцінка профілю девелоперської компанії (на прикладі реконструкції житлового фонду КНР). *Науковий вісник Буковинського державного фінанс.-економічного університету. економічні науки*. 2015. Вип. 28 (Ч. 4). С. 51–54

24. Галунка О., Бєлєнкова О., Локтіонова Я. Інновації як імпет структурно-функціональних трансформацій взаємовідносин учасників будівництва. *Просторовий розвиток*. 2024. № 9. С. 304–316. https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.9.304-316

25. Економічне управління інноваціями: монографія / В.Г. Федоренко та ін.; за ред. В.Г. Федоренка; КНУБА та ін. Київ: ДКС Центр, 2020. 371 с.

26. Титок В., Распутний Д. Імперативи управління розвитком підприємств в умовах цифровізації економіки. *Цифрова економіка та економічна безпека*, 2023. № 7 (07), 75-79. https://doi.org/10.32782/dees.7-12

27. Распутний Д.С., Коваль О.О., Пилюта В.О. SWOT-аналіз цифрової зрілості учасників будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52(1). С. 227-237. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).227-237

28. Möller, D.P.F. Cybersecurity Maturity Models and SWOT Analysis. In: Guide to Cybersecurity in Digital Transformation. *Advances in Information Security*, 2023. vol 103 . Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26845-8_7

29. Peng, L., Park, Y.-N., Yoo, M.-Y., Ham, N.-H., & Kim, J.-J. A Study on Chinese Smart Construction Strategy by SWOT Analysis. *Journal of KIBIM*, 2018. 8(4), 1–12. https://doi.org/10.13161/kibim.2018.8.4.001

30. Lu, W., Li, H., Shen, L., & Huang, T. Strengths, weaknesses, opportunities, and threats analysis of Chinese construction companies in the global market. *Journal of Management in Engineering*, 2009. 25(4), 166–176. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2009)25:4(166)

31. Joblot L., Paviot T., Deneux D., Lamouri S. Building Information Maturity Model specific to the renovation sector. *Automation in Construction*. 2019, Vol. 101, P. 140-159, https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.019.

32. China Construction Informatization Development Report Compilation Team. (2019). Report on the informatization development of China's AEC industry. Beijing: Application and development of informatization in prefabricated building

33. Дубінін Д. Проблеми та методи оцінювання рівня цифрового розвитку учасників будівництва в мультипроектному середовищі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 2023. 52(2), С. 81–93. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(2).81-93

34. Khan A, Sepasgozar S, Liu T, Yu R. Integration of BIM and Immersive Technologies for AEC: A Scientometric-SWOT Analysis and Critical Content Review. *Buildings*. 2021; 11(3):126. https://doi.org/10.3390/buildings11030126

35. Цифра Т.Ю. BIM як інструмент реформування системи ціноутворення (на прикладі дорожньо-будівельних підприємств Казахстану). *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2021. № 47 (2). С. 167-178. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(2).167-178

36. Zeltser R.Ya., Bielienkova O.Yu., Novak Ye., Dubinin D.V. Digital Transformation of Resource Logistics and Organizational and Structural Support of Construction. *Nauka i innovatsii*. 2019. V. 15 (5). P. 38–51. https://doi.org/10.15407/scine15.05.034

37. Кричевська Ю. В., Рижакова Г. М., Шпаков А. В., Поколенко В. О., Приходько Д. О. Цифрова екосистема в будівельному девелопменті: концептуально-теоретичні аспекти трансформації та управлінські імперативи. *Управління розвитком складних систем*. 2024. № 60. С. 174–182. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.174-182

38. Бєлєнкова О.Ю. Стратегія та механізми забезпечення конкурентоспроможності будівельних підприємств на основі моделі сталого розвитку: монографія. Київ: Ліра-К, 2020. 512 с.

39. Бєлєнкова О., Кирилов І., Строєнко А. Забезпечення конкурентоспроможності й економічної безпеки забудовника в нестійких умовах: фінансова стійкість, адаптивність, інновації. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. Вип. 56(1). С. 386–396. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).386-396

40. Зельцер Р.Я., Бєлєнкова О.Ю., Дубінін Д.В. Інноваційні моделі і методи організації, управління і економічної оцінки технологічних процесів будівельного виробництва: монографія. Київ: «МП Леся», 2018. 208 с.

41. Malykhin M., Dubinin D., Bielienkova O. Methodological approach to construction of a system for detection and prevention of destruction of the activities of construction participants. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2025. Vol. 11, No. 3. P. 230–238. https://doi.org/10.30525/2256-0742/2025-11-3-230-238

42. Сорокіна Л.В., Гойко А.Ф., Коваленко Є.С. Діагностика ефективності використання виробничих факторів у будівництві засобами канонічного аналізу. *Будівельне виробництво*. 2019. № 66. С. 22–29. https://doi.org/10.36750/2524-2555.66.22-29

43. Sorokina L., Tsyfra T., Vahovich I. Modeling the Level of Implementation of BIM by Enterprises as a Means of Optimizing the Cost. Data-Centric Business and Applications. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2024. Vol. 195. P. 277–295. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-7_12

44. Бєлєнкова О.Ю. Вдосконалення механізму управління конкурентним потенціалом девелопера засобами штучного інтелекту. *Актуальні проблеми економіки*. 2020. № 3. С. 107–122.

45. Поповиченко І. В., Спірідонова К. О., Андрійчук А. С. Застосування штучного інтелекту в фінансово-економічному аналізі діяльності

підприємства. *Економічний простір*. 2024. № 189. С. 81–84. https://doi.org/10.32782/2224-6282/189-15

46. Ізмайлова К.В. Урахування класу енергоефективності житлової будівлі у параметричному ціноутворенні. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2019. №42. С. 19–25. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2019.42.19-25

47. Lemieux, V.L. Blockchain recordkeeping: A SWOT analysis. *Information Management*, 2017. 51(6), 20–27. https://doi.org/10.3390/computers10110135

48. Adejola F. O., Nwobodo-Anyadiegwu E. N. Digital Technologies for Sustainable Construction Project Management: A Systematic Review of Benefits and Challenges. *Sustainability*. 2025. Vol. 17(24). Article 11247. https://doi.org/10.3390/su172411247

49. Nozari H., Movahed A.B., Szmelter-Jarosz A. Review of the Effects of Digital Transformation on the Construction Industry. *Journal of the Knowledge Economy*. 2026. https://doi.org/10.1007/s13132-026-03365-0

50. Поколенко В., Щербань Б., Цимбалістий Ю., Герасимчук Я. Варіативні стратегії до проєктування управлінських структур у девелоперських будівельних проєктах. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025, 55(1), 167-182. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).167-182.

51. Поповиченко І. Реалізація принципів зеленої економіки у будівельній галузі в контексті концепції сталого розвитку суспільства. *Економічний простір*. 2025. № 206. С. 382–386. https://doi.org/10.30838/EP.206.382-386

52. Чуприна Ю., Кирпач В., Грабчак Д., Бірук О. Ключові методологічні засади інтеграції стейкхолдерів у процеси інвестування та реалізації девелоперських будівельних проєктів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025, 55(1), 116-133. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).116-133

53. Чуприна Х. М., Ніколайко Д. М., Шлапак О. Г., Алексєєнко В. О. Використання цифрових індикаторів та оптимізація бізнес-процедур для оцінки рівня інноваційного розвитку будівельних підприємств. *Просторовий розвиток*. 2025. № 12. С. 146–161. https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.12.146-161

54. Оксенчук Р. Дослідження ключових концепцій економічних технологій та їх застосування в девелоперському бізнесі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025, 56(2), 275-286. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(2).275-286.

55. Бєлєнкова О., Коваль О. Соціальний захист у системі оцінювання інвестиційних проєктів реконструкції житлового фонду. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. Вип. 55(1). С. 285–295. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).285-295

56. Предун К., Гудов В., Кочума В., Цай М. Методичні підходи та алгоритми ранжування пріоритетів інвестування у сфері будівельних матеріалів і виробів, оптимізація структури та капіталовкладень. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025, 55(1), 246-258. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).246-258.

57. Construction – Building Information Modelling (Rolling Plan 2026). Interoperable Europe Portal. European Commission, 2026. URL: https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/construction-building-information-modelling-rp-2026 (дата звернення: 17.08.2026).

58. Міністерство розвитку громад та територій України. Цифровізація будівництва та містобудування: підсумки 2025 року та плани на 2026 рік. Київ, 2025. URL: https://mininfra.gov.ua/news/tsyfrovizatsiia-budivnytstva-ta-mistobuduvannia-pidsumky-2025-roku-ta-plany-na-2026-rik (дата звернення: 17.08.2026).

59. Кабінет Міністрів України. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в

Україні та затвердження плану заходів щодо її реалізації: Розпорядження КМУ від 17.02.2021 № 152-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-%D1%80(дата звернення: 17.08.2026).

60. Berlato M., Binni L., Durmus D., Gatto C., Giusti L., Massari A., Toldo B. M., Cascone S., Mirarchi C. Digital Platforms for the Built Environment: A Systematic Review Across Sectors and Scales. *Buildings*. 2025. Vol. 15(14). Article 2432. https://doi.org/10.3390/buildings15142432

61. Іванина О. Використання систем управління ресурсами (ERP, BIM) у промисловому будівництві. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025, 56(2), 364-378. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(2).364-378

62. Дац А. Я., Загорецька О. Я. Аналізування важливості імплементації цифрового інструментарію підприємствами будівельної галузі. *Будівельне виробництво*. 2024. № 77. С. 67–73. https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.67-73

63. ISO 21502:2020. Project, programme and portfolio management – Guidance on project management. URL: https://www.iso.org/standard/74947.html (дата звернення: 17.08.2026).

64. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K. (2011) BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. John Wiley & Sons, Hoboken.

65. Popovychenko I., Levchinskiy D., Kirnos O. Cost Management of the Life Cycle of Real Estate Objects: Experience, Problems and Solutions. *Journal of International Legal Communication*. 2023. Vol. 9, No. 2. P. 67–79. https://doi.org/10.32612/uw.27201643.2023.9.2.pp.67-79

66. Титок В.В., Сиволап Ю.В. Організаційно-економічне управління вартістю життєвого циклу будівельних об'єктів: проблеми та шляхи розв'язання. *Здобутки економіки: перспективи та інновації*, 2025, (15). https://doi.org/10.5281/zenodo.14881912

67. Чертков О.Ю., Шумак Л.В., Распутний Д.С. Аналіз факторів впливу на ефективність проектних рішень. *Шляхи підвищення ефективності*

будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2024. № 53 (2). С. 123-141. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(2).123-141

68. Сиволап Ю.В., Титок В.В. Методи оцінки життєвого циклу будівництва та їх ключові особливості. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52(1). С. 101-109. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).101-109.

69. Поповиченко І. Оцінювання вартості життєвого циклу об'єктів нерухомості: українські реалії та міжнародний досвід, проблеми, перспективи. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. Вип. 55(1). С. 296–303. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).296-303

70. China Construction Informatization Development Report: Digital Construction and BIM Adoption Trends. Beijing: China Electric Power Press, 2025. URL: https://www.chinaelectricpowerpress.com (дата звернення: 17.08.2026)

71. Chen X. BIM Technology Leads the Digital Transformation of the Construction Industry. *Journal of World Architecture*. 2025. Vol. 9. No. 6. DOI: https://doi.org/10.26689/jwa.v9i6.13398

72. Перегінець І., Смірнов Ю. Цифрова трансформація будівельного виробництва об'єктів нерухомості на основі інформаційного моделювання. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2025, 71, 130-139. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.130-139.

73. Левченко О.В., Михайленко А.В., Череватий А.З. BIM як інструмент відновлення України. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2025, 72, 82-102. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.72.82-102.

74. Baghdadi A. A Comprehensive Review of Digital Twin Implementation in Construction: Current Trends and Future Directions. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2025. https://doi.org/10.1080/13467581.2025.2517242

75. Adeniyi O., Rathnasiri P., Ojo L. D., Akindehinde A., Thurairajah N. The Evolution of Digital Twin Applications in Construction and the Built Environment:

Analysis of Trends, Research Clusters and Future Directions. *Intelligent Buildings International*. 2025. https://doi.org/10.1080/17508975.2025.2558616

76. Valinejadshoubi M., Sacks R., Valdivieso F., Corneau-Gauvin C., Kaptué A. Digital Twin Construction in Practice: A Case Study of Closed-Loop Production Control Integrating BIM, GIS and IoT Sensors. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2025. https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-16588

77. Amarkhil Q., Hegab M., Alroomi A. AI-Driven Semantic Framework for Automated Construction Planning and Scheduling with BIM and Digital Twin Integration. *Engineering Proceedings*. 2025. Vol. 112(1). Article 3. https://doi.org/10.3390/engproc2025112003

78. Berlato M., Binni L., Durmus D., Gatto C., Giusti L., Massari A., Toldo B. M., Cascone S., Mirarchi C. Digital Platforms for the Built Environment: A Systematic Review Across Sectors and Scales. *Buildings*. 2025. Vol. 15(14). Article 2432. https://doi.org/10.3390/buildings15142432

79. Alkan N, Kahraman C. Prioritization of Supply Chain Digital Transformation Strategies Using Multi-Expert Fermatean Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Informatica: An International Journal of Computing and Informatics*. 2022; 34(1): 1-33. doi:10.15388/22-INFOR493

80. Saaty T.L. Decision making – the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). Journal of Systems Science and Systems Engineering. 2024. 13, 1–35. https://doi.org/10.1007/s11518-006-0151-5

81. Лівінський О.М. Економіка будівництва: навч. посібник. Київ: Людмила», 2019. 224 с.

82. Стеценко С., Ковтун А., Немтирєв О. Роль державної політики у підтримці сталого розвитку будівництва: макроекономічні підходи та фінансові інструменти. *Сталий розвиток економіки*, 2025, 2 (53), 93-99. https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-53-13

83. Sorokina L., Prav Y., Stetsenko S., Skakun V., Lysytsia N. Methodical Approach to Assessment of Real Losses Due to Damage and Destruction of Warehouse Real Estate. Data-Centric Business and Applications. *Lecture Notes on*

Data Engineering and Communications Technologies. Vol. 194. Springer, 2024. P. 197–222. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53984-8_9

84. Гриценко О., Запєчна Ю., Шевчук К., Гаврилюк В. Визначення кошторисної вартості проектних робіт за допомогою укрупнених показників трудомісткості. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2023, 50(2), 123–129. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50(2).123-129

85. Вахович І. В., Дем'яненко О. О., Богатюк Д. В. Методичні підходи до визначення вартості інжинірингових послуг на різних стадіях життєвого циклу об'єкту. *Просторовий розвиток*. 2023. № 5. С. 339–351. https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.339-351

86. Сорокіна Л.В., Гойко А.Ф., Коваленко Є.С. Просторова модель ціноутворення у житловому будівництві. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2018, 36, 7–19. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2018.36.7-19

87. Гойко А., Сорокіна Л., Цифра Т. Принципи та методи оцінки економічної ефективності функціонування будівельних підприємств. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2026, 57(1), 281–293. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(1).281-293

88. Шумак Л. Дослідження та розробка підходів для аналізу чинної системи ціноутворення проектних робіт. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2023, 50(2), 220–250. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50(2).220-250

89. Rosynskyi A., Sorokina L., Kalashnikov D., Akizhanova A., Tormosov R., Malykhin M. Real Estate Price Management Through Fuzzified Time Impact Factors Using MATLAB: Development Companies' Approach. *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies* (SIST). Astana, 2024. P. 606–611. https://doi.org/10.1109/SIST61555.2024.10629393

90. Ізмайлова К.В. Вплив фінансового важелю у впровадженні схем проектного фінансування в Україні. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2012. №28. С.82-87.

91. Ізмайлова К. В., Ізмайлова О. В. Система експертизи ефективності інвестиційних на стадії техніко-економічного обґрунтування. *Управління розвитком складних систем*. 2010. Вип. 4. С. 45-54. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2010.4.%25p

92. Ізмайлова К. Обґрунтування економічних рішень щодо підвищення ефективності проектів на передінвестиційній стадії. *Економіка України*. 2016. № 10. С. 79–87.

93. Ізмайлова К.В. Регресивна модель впливу проектних рішень на енергоефективність будівлі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2020. № 44. С. 108–115. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2020.44.108-115

94. Ізмайлова К.В.. Економічна експертиза інвестиційного проекту «Доходний будинок». *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2019, 40, 156–164. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2019.40.156-163

95. Загорецька О. Я. Інструменти інвестиційного проєктування реконструкції житлового фонду. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. № 53(2). С. 321–330. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(2).321-330

96. Машошина Т.В. Транспарентність економічної природи договірних цін на проектні роботи. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України*: тези доповідей XIII-ї наук. практ. міжнар. конф. Харків: Укр ДУЗТ. 2017. 125-126 с.

97. Машошина Т.В. Економічні засади формування вартості проектних робіт. *Регіональна, галузева та суб'єктивна економіка України на шляху до євроінтеграції*. Матеріали IX-ї міжн. наук.-практ. конф. Харків. ХНУБА. 2017. С. 168-170. https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/.

98. Машошина Т.В. Основні економічні закони, які впливають на процес розробки проектно-кошторисної документації та фінансовий результат

діяльності проектних організацій. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2013. № 42. С. 315-318,

99. Maschoschina T. Überwachung des Preissystems im Bauwesen und dessen Einfluss auf die Aktivitäten von Projektorganisationen. *Institutionelle grundlagen für die funktionierung der ökonomik unter den bedingungen der transformation: sammelwerk der wissenschaftlichen Artikel*. Nürnberg, Deutschland: Verlag SWG imex GmbH. 2014. № 1. С. 245-248.

100. Сорокіна Л. В., Шумак Л. В. Цифровізація як нова реальність у галузі проектування та будівництва в Україні. *Нові запити та здібності*. Матеріали III Міжнар. форуму вчених та дослідників SCIENCE AND STUDY 2021. Київ. 2021. С. 66–71. Асоціація сприяння глобалізації освіти та науки «СПЕЙСТАЙМ». Київ. Україна. С. 72 – 79.

101. Poli M., Shenhar A. J. Project strategy: the key to project success. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology Technology Management for Reshaping the World*, 2003., Portland, OR, USA, 2003, pp. 231-235, https://doi.org/10.1109/PICMET.2003.1222799

102. Беркута А.В. Система реформування ціноутворення у будівництві України: автореф. дис. канд. економ. наук; КНУБА. Київ. 2002. 20с.

103. Вахович І.В., Ячменєва Ю.В. Актуальні напрями вдосконалення системи ціноутворення у будівництві України. *BIM-технології, Методологія та принципи ціноутворення у будівництві. Інноваційні технології у будівельній галузі та їх впровадження*: Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції. 2018. С. 60-61.

104. Закорко П.П., Вершигора Д.М. Підходи до формування вартості будівельних робіт, що виконуються вітчизняними будівельними підприємствами за межами України. *Шляхи підвищення ефективності будівництва за умов формування ринкових відносин*. 2018, 36, 27-33.

105. Гойко А.Ф., Гриценко О.С., Шевчук К.І. та ін. Економіка проектування у будівництві. Київ: КНУБА, 2015. 236 с.

106. Гриценко О.С., Шевчук К.І., Вахович І.В., Гриценко Ю.О. Моделювання проектних робіт для будівництва: навч. посібник. Київ: КНУБА, 2010. 124с.

107. Гриценко О.С., Шумак Л.В. Особливості визначення кошторисної вартості на проектні роботи за кордоном. *Ефективні технології в будівництві*: зб. матеріалів IV наук.–техн.. конф. Київ. КНУБА. 2019. С. 142–143. URL: http://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/22/2019.pdf

108. Запєчна Ю.О., Шумак Л.В. Ціноутворення на проектні роботи за кордоном. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2020. № 46. С. 197–208. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2020.46.197-208

109. Титок В.В. Комплексний попередній аналіз інноваційно інвестиційного проекту в житловому будівництві. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2015. Вип. 34. С. 137-148. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2015.34.137-148

110. Савенко В.І., Доценко С.І., Пальчик С.П. та ін. Менеджмент якості в будівництві та виробничі організаційні системи: монографія. Під ред. Лівінського О.М. та ін. Київ: Центр учб. літер., 2018. 230 с.

111. Савенко В.І., Доценко С.І. та ін. Конкурентоспроможність будівельної організації – основа виживання економіки: монографія. Київ: Центр учб. літер., 2017. 128 с.

112. Распутний Д.С., Титок В.В. Оцінка економічної ефективності використання технологій інформаційного моделювання будівель на різних етапах життєвого циклу інвестиційно-будівельних проектів. *Наукові записки Львівського університету бізнесу та права*, 2025, (45), 598-608. https://doi.org/10.5281/zenodo.17155723

113. Титок В., Сиволап Ю. Обґрунтування значущості вибору проєктного рішення та його вплив на загальну вартість життєвого циклу будівельного об’єкта. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025, 55(1), 273–284. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).273-284

114. Чертков О.Ю., Распутний Д.С. Ризики, що впливають на досягнення цілей будівельних організацій-генпідрядників при реалізації інвестиційно-будівельних проєктів у контексті застосування цифрових технологій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025, 56(1), 219-223. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).219-223

115. Emelianova O., Tytok V., Lavrukhina K., Shatrova I., Demydova O. Digital transformation in the construction industry: Analysing the impact of technological changes on construction processes. *Estoa. Journal of the Faculty of Architecture and Urbanism*. 2025. Vol. 14, No. 27. P. 257–268. https://doi.org/10.18537/est.v014.n027.a16

116. Філіппов О.В., Шумак Л.В. BIM-технології інформаційного моделювання будівель на стадії проєктування. Національний і зарубіжний досвід. *Будівельне виробництво*. 2024. Вип. 75. С. 39–53. https://doi.org/10.36750/2524-2555.75.39-53

117. Починок Н., Лупійчук А. Інформаційне моделювання будівництва: фінансово-обліковий аспект. *Світ фінансів*. 2024. Вип. 2, № 79. С. 99–115

118. Київська К., Лузіна Ю. Перспективи впровадження BIM-технологій у вітчизняній будівельній галузі. *Управління розвитком складних систем*. 2021. Вип. 46. С. 63–69. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.46.63-69

119. Rostamiasl V., Jrade A. Integrating Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Cost Analysis (LCCA) to Evaluate the Economic Benefits of Designing Aging-In-Place Homes at the Conceptual Stage. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 13. P. 5743. https://doi.org/10.3390/su16135743

120. Demian P., Hassan T. M., Kalmykov O., Demianenko I., Makarov R. BIM implementation in post-war reconstruction of Ukraine. *Buildings*. 2024. Vol. 14, No. 11. Article 3495. https://doi.org/10.3390/buildings14113495

121. Hryhorovskyi P., Osadcha I., Jurelionis A., Basanskyi V., Hryhorovskyi A. A BIM-based method for structural stability assessment and emergency repairs of large-panel buildings damaged by military actions and

explosions: evidence from Ukraine. *Buildings*. 2022. Vol. 12, No. 11. Article 1817. https://doi.org/10.3390/buildings12111817

122. Дем'яненко О. О., Міліцький К. О. Результати технічного обстеження багатоповерхового житлового будинку, пошкодженого внаслідок ракетного удару. *Будівельне виробництво*. 2024. № 76. С. 57–62. https://doi.org/10.36750/2524-2555.76.57-62

123. Поколенко В., Герасимчук Я., Різун Д., Тищенко М., Щербак І. Теоретичні засади впровадження BIM-технологій в управлінні будівельними проєктами. *Будівельне виробництво*, 2025, 80, 62–70. https://doi.org/10.36750/2524-2555.80.62-70

124. Трач Р.В. Когнітивні механізми управління будівельними проєктами на основі BIM технологій: автореф. дис. … д-ра. техн. наук: 05.13.22 / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. Київ, 2021. 44 с.

125. Abugu C. Integrating Building Information Modelling (BIM) for Effective Construction Planning, Execution, and Lifecycle Management. *International Journal of Research Publication and Reviews*. 2025, 6, 4347-4364. https://doi.org/10.55248/gengpi.6.0125.0621

126. Singh J. Building Information Modeling and Management. In: Bajaj, D. (eds) *Handbook of Construction Project Management*. 2025. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-7631-6_27

127. Войтович В. Вплив BIM-технологій на ефективність управління будівництвом. *Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування*, 2025, 71, 646–657. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.646-657

128. Доненко В.І., Іщенко О.Л., Вакулюк Я.Є. BIM-технології як метод оптимізації використання ресурсів в будівельній галузі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2019. Вип. 41. С. 141-147. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2019.41.141-147

129. Mounir El Kh., Khadeeja A., Wesal A., Ahmad J., Khaleel M., Haitham A. BIM as a tool to optimize and manage project risk management. *Journal of Mechanical Engineering*. 2022, 7, 6307-6323.

130. Гармаш О. І., Червяков Ю. М., Дем'яненко О. О. Підвищення довговічності будівельних конструкцій. *Будівельне виробництво*. 2025. № 80. С. 16–20. https://doi.org/10.36750/2524-2555.80.16-20

131. Розвиток інформаційних освітніх технологій: монографія / за ред. А.О. Литвинчука; ДНУ «Інститут освітньої аналітики». Київ, 2025. 199 с.

132. Kovalenko, M., Sikalo, M., Kovalova, T., Radchenko, O., Velychko, L., Nakisko, O., Grybko, O., Maistro, S., Ryzhikova, N. Development of an integrated quality management model in the context of digital transformation: public administration, education, economy. *Technology Audit and Production Reserves*, 2025, 6 (4 (86)), 46–61. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.348540

133. Mésároš P., Mandičák T., Spišáková M., Behúnová A., Behún M. The Implementation Factors of Information and Communication Technology in the Life Cycle Costs of Buildings. *Applied Sciences*, 2021, 11(7), 2934. https://doi.org/10.3390/app11072934

134. Qadir S., Alawag A.M., Baarimah A.O., Zia N., Alajmi M., Almujibah H.R., Alyami H. The role of digital technologies in enhancing construction project management. *Scientific Reports*. 2025 Dec 8;16(1):1486. https://doi.org/10.1038/s41598-025-31955-6

135. Рижакова Г., Дубінін Д., Чуприна Ю., Гега С., Бодянський О. Конвергентно-дифузійна інженерія як визначальний фактор якісної трансформації девелоперських проєктів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025, 56(3), 223–235. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).223-235

136. Чуприна Х. М., Федорченко М. А., Катін О. А., Гроголь В. Я. Опрацювання понятійного апарату щодо сумісного застосування штучного інтелекту та IT як нового підґрунтя вибору варіантів будівель з раціональними характеристиками. *Управління розвитком складних систем*. 2025. № 62. С. 141–154. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.141-154

137. 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

138. Дружинін А.В., Дружинін Є.А., Давиденко О.А., Обухова Н.В. Управління проєктами на базі будівельного інформаційного моделювання. *Комунальне господарство міст. Серія: Економічні науки*. 2023. Вип. 2, № 176. С. 44–52. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-2-176-44-52

139. Begić H., Galić M., Dolaček-Alduk Z. Digitalization and Automation in Construction Project's Life-Cycle: A Review. *Journal of Information Technology in Construction.* 2022. Vol. 27. P. 441-460. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.021

140. Jørgensen B.N., Ma Z. Towards Energy Efficient Buildings by Digital Transformation of the Building Lifecycle. *Energy Informatics*. 2024. Vol. 7. https://doi.org/10.1186/s42162-024-00405-4

141. Adekunle S. A., Ejohwomu O., Aigbavboa C. O. Building Information Modelling Diffusion Research in Developing Countries: A User Meta-Model Approach. *Buildings*. 2021. Vol. 11, No. 7. P. 264. https://doi.org/10.3390/buildings11070264

142. Kubečka K., Nývlt V. Overcoming barriers to the implementation of building information management (BIM) in the construction company with respect to the risks. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*. 2023. Vol. 23, No. 5.1. P. 431–438. https://doi.org/10.5593/sgem2023/5.1/s21.56

143. Muzafar M. Building information modelling to mitigate the health and safety risks associated with the construction industry: a review. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2021. Vol. 27, No. 4. P. 1087–1095. https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1689719

144. Tan T., Chen K., Xue F., Lu W. Barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: An interpretive structural modeling (ISM) approach. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 219. P. 949–959. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.141

145. Sacks R., Girolami M., Brilakis I. Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol. 4. P. 100011. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011

146. Heigermoser D., de Soto B. G., Abbott E. L. S., Chua D. K. H. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. *Automation in Construction*. 2019. Vol. 104. P. 246–254. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.019

147. КНУ Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 6. Бетонні та залізобетонні конструкції монолітні. Затверджено наказом Міністерства розвитку громад та територій України 31.12.2021 № 374. URL: https://e-construction.gov.ua/files-token/272ec334e247a7b556b5ccccd92ed37c

148. Подольчак Н.Ю., Білик О.І., Левицька Я.В. Сучасний стан цифровізації в Україні. *Ефективна економіка*. 2019. № 10. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/10_2019/6.pdf

149. Ястремська О.М., Ястремська О.О. Управління розвитком підприємств: уточнення теоретичних положень. *Проблеми економіки*. 2020. №1(43). С. 214–226. https://doi.org/10.32983/2222-0712-2020-1-214-226

150. Коваленко Н.В. Організаційне забезпечення управління розвитком підприємств: цілі, принципи, функції та завдання. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2019. Т. 30(69). № 4, ч. 1. С. 69–77. https://doi.org/10.32782/2520-2200/2019-4-15

151. Пащенко О. П. Стратегічне управління розвитком підприємства. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2011. № 2. Т. 2. С. 99–103. URL: https://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/2011_2_2/099-103.pdf

152. Токмакова І. В., Шатохіна Д. А., Мельник С. В. Стратегічне управління розвитком підприємств в умовах цифровізації економіки. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2018. № 64. С. 283–291. https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i64.149563

153. Гавадзин Н. О., Клубук А. І., Пасічник В. В. Цифровізація бізнесу: зміна попиту на професії і формування нових компетенцій. *Національні інтереси України*. 2025. № 5(10). С. 833–840. https://doi.org/10.52058/3041-1793-2025-5(10)-833-840

154. Хвостіна І. М. Механізм управління розвитком підприємства. *Інвестиції: практика та досвід*. 2015. № 1. С. 30–33. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-43-55

155. Чигрин О.Ю., Бондаренко А.Ф. Напрямки розвитку стратегій із підвищення конкурентоспроможності для підприємств в умовах сучасних викликів в Україні. *Економіка та суспільство*. 2024, № 61. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-17

156. Швиданенко Г.О. Розвиток підприємства: стратегічні наміри, ризики та ефективність: колективна монографія / Г.О. Швиданенко, К.С. Бойченко. К.: КНЕУ, 2015. 232 с.

157. Швед В.В., Горобець А.П. Стратегія розвитку підприємства: сутність та значення. *Науковий вісник Херсонського державного університету*, 2023. Вип. 49. С. 36-43. https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-49-6

158. IMD World Competitiveness Online. Country Profile: Ukraine. Офіційна база даних IMD. URL: https://worldcompetitiveness.imd.org/countryprofile/UA

159. World Digital Competitiveness Ranking. IMD World Competitiveness Center. URL: https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness-ranking/

160. Ionin Y., Prysich A. Digital transformation in company management: Ukraine on the way to competitiveness. *Economic Analysis*. 2024. Vol. 34 (3). P. 429-437. https://doi.org/10.35774/econa2024.03.429.

161. Франко Л. С. Роль цифрової трансформації інновацій у підвищенні конкурентоспроможності України: сучасний стан та перспективи. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 42. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-63.

162. World Bank. GovTech Maturity Index 2024: Digital Transformation for Service Delivery. Washington, DC: World Bank, 2025. URL: https://www.worldbank.org/en/programs/govtech/govtech-maturity-index

163. World Bank. GovTech Dataset and Explorer. Washington, DC: World Bank. URL: https://www.worldbank.org/en/programs/govtech/dataset-and-explorer

164. Міністерство цифрової трансформації України. Україна серед лідерів GovTech у рейтингу Світового банку. URL: https://thedigital.gov.ua/news/progress/ukrayina-sered-lideriv-govtech-u-reytynhu-svitovoho-banku

165. Міністерство цифрової трансформації України. Дія. Цифрова держава. URL: https://diia.gov.ua

166. Використання інформаційно-комунікаційних технологій на підприємствах. Державна служба статистики України, 2022. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/zv/ikt/arh_ikt_u.html

167. Гавадзин Н. О., Марків М. М., Кашівський С. В., Білоус В. В. Цифровий розрив та його вплив на економічні дисбаланси: безробіття й інфляція. *Успіхи і досягнення у науці*. 2025. № 7(17). С. 823–832. https://doi.org/10.52058/3041-1254-2025-7(17)-823-832

168. Бабич С. М., Бабич Д. В. Інновації на підприємствах України: використання інформаційно-комунікаційних технологій. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Економічна».* 2024. № 106. https://doi.org/10.26565/2311-2379-2024-106-06

169. Гавадзин Н. О., Марків М. М. Нормативне регулювання технологій ШІ та вплив на бізнес. *Інфраструктура ринку*. 2024. № 79. С. 192–195. https://doi.org/10.32782/infrastruct79-32

170. Зелінська Д.О. Трансформація бізнес-процесів під впливом діджиталізації в контексті перехідного періоду від Індустрії 4.0 до Індустрії 5.0. *Економіка та суспільство*. 2025. № 78. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-78-154.

171. Гавадзин Н. О., Клубук А. І., Зелінський І. А., Пасічник В. В. Вплив штучного інтелекту на продуктивність праці в різних галузях економіки. *Наукові інновації та передові технології*. 2025. № 4(44). С. 757–764. https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-4(44)-757-764

172. Pasko M., Lisna I., Morozova N., Denchyk I. Readiness of Ukrainian Business for Digital Transformation: Drivers and Barriers. *Фінансово-кредитні системи: перспективи розвитку*. 2025. Т. 1, № 16. С. 125-137. https://doi.org/10.26565/2786-4995-2025-1-10

173. Гавадзин Н. О., Марків М. М., Білоус В. В., Кашівський С. В. Механізми інтеграції цифрових технологій у політику зайнятості та антиінфляційні заходи. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. № 7(48). С. 341–350. https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-7(48)-341-350

174. Шатіло О. В. Сучасні тенденції впровадження цифрової трансформації на підприємствах України. *Стратегія економічного розвитку України*. 2026. Т. 58. https://doi.org/10.33111/sedu.2026.58.175.189

175. Kalenyuk I., Tsymbal L., Celika M. Digital Business Transformation: Trends and Opportunities in Ukraine. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2025. Vol. 11, No. 5. P. 55-64. https://doi.org/10.30525/2256-0742/2025-11-5-55-64.

176. Згалат-Лозинська Л., Дмитренко Г., Головач Н. Стратегічні засади управління конкурентоспроможністю будівельних підприємств у парадигмі сталого соціально-економічного розвитку. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025, 56(3), 34–44. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).34-44

177. Приходько Д. О., Загорецька О. Я., Іванина О. М., Бошган А. В., Науменко К. В. Теоретичне обґрунтування ролі диверсифікації у підвищенні стійкості і конкурентоспроможності будівельних підприємств. *Будівельне виробництво*. 2025. № 80. С. 92–106. https://doi.org/10.36750/2524-2555.80.92-106

178. Згалат–Лозинська Л.О., Оксенчук Р.О., Ползіков М.О., Матвеїв В.В. Адаптивні моделі стратегічного управління девелоперськими

будівельними проєктами в умовах динамічного економічного середовища. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2025 №5(288) С. 5-16. https://doi.org/10.5281/zenodo.17019081

179. Згалат-Лозинська Л., Зінченко М. Сутність інноваційної діяльності та напрями її реалізації в будівельній галузі України. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025, 55(2), 264–276. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(2).264-276

180. Чуприна Х., Тормосов Р., Онофрійчук О., Романенко О., Дудник Ю., Іванова Т. Фінансові механізми формування та підтримки цифрової інфраструктури будівельної галузі. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 2026, 2(67), 490–502. https://doi.org/10.55643/fcaptp.2.67.2026.5134

181. Чуприна Х., Герасимчук О., Макеєв Д., Кривда К. Методологічні та практичні основи трансформації операційної діяльності підприємств у сфері будівельного інжинірингу та управлінського консалтингу. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025, 55(1), 100–115. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).100-115

182. Чуприна Х., Чуприна Ю., Перелі Д., Кушнір О., Черненко М., Юйтао В. Економіко-управлінські імперативи розвитку будівельного девелопменту в умовах цифрової трансформації операційних систем підприємств-стейкхолдерів. *Управління розвитком складних систем*, 2024, 60, 209–220. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.209-220

183. World Bank. Project Cycle. URL: https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/products-and-services/brief/projectcycle (дата звернення: 28.08.2026)

184. European Investment Bank. The Basic Project Stages. URL: https://advisory.eib.org/find-support/project-lifecycle/index (дата звернення: 28.08.2026)

185. European Investment Bank. Project Cycle. URL: https://www.eib.org/en/projects/cycle/index (дата звернення: 28.08.2026).

186. Bajare D., Zsembinszki G., Pedroso P. F., Pedroso M. F., Kripa D., Nano X., Tambovceva T., Borg R. P. Defining the Project's Lifecycle Stages and Their Related Decision-Making Activities. *Circular Economy Design and Management in the Built Environment*. Springer Tracts in Civil Engineering. Cham: Springer, 2024. P. 647–665. https://doi.org/10.1007/978-3-031-73490-8_21.

187. Оберкович С., Лебедєв М. EPC контракт в Україні: ризики та нюанси реалізації. URL: https://yur-gazeta.com/publications/practice/mizhnarodne-pravo-investiciyi/ers-kontrakt-v-ukrayini-riziki-ta-nyuansi-realizaciyi.html (дата звернення: 28.08.2026)

188. Almutairi N., Musleh N., Abdelhamid M. Project Delivery Systems and Contracting Strategies. *International Journal of Engineering and Technical Research*. 2022. Vol. 11. Issue 03. P/ 385-392. URL: https://www.researchgate.net/publication/360000975_Project_Delivery_Systems_and_Contracting_Strategies (дата звернення: 28.08.2026)

189. Калінін О., Гончар В. Управління ризиками для оптимізації прийняття управлінських рішень в умовах державно-приватного партнерства. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2023, 52(2), 110–121. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(2).110-121

190. Sorokina L., Rosynskyi A., Dubovyk D., Biloshchytskyi Y., Onofriichuk O., Maltsev M. Transactional Risk Management in Construction and Reconstruction Investment Projects Using MATLAB Simulink and Fuzzy Decision Support Systems. *2025 IEEE 5th International Conference on Smart Information Systems and Technologies* (SIST). Astana, 2025. P. 1–7. https://doi.org/10.1109/SIST61657.2025.11139257

191. Черненко Ю., Бородін Б. Моделювання проєктних ризиків для сталої господарської діяльності компанії. *Сталий розвиток економіки*, 2025, 1 (52), 382-386. https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-52-54

192. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT). [Чинний від 2019.01.01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. URL:

https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_31000_2018.pdf (дата звернення: 28.08.2026)

193. Настанова до зводу Знань з управління проєктами. Настанова PMBOK. 7-е видання та стандарт з управління проєктами. URL: https://pmiukraine.org/pmbok7 (дата звернення: 28.08.2026)

194. Захарова Н. Ю. Управління ризиками на підприємстві: сутність, підходи та методи. *Бізнес Інформ*. 2023. №1. С. 203–209. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-1-203-209

195. Білоус С., Власенко А. Управління ризиками на підприємстві. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2023. №8. С. 17-21 https://doi.org/10.32782/dees.8-4

196. Ризик-менеджмент будівельних підприємств проектоорієнтованого типу: монографія / О.А. Гавриш, К.О. Кузнєцова, В.А. Мельникова. Під редакцією Лисецької Н.М. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 211 с.

197. Khumpaisal S. A Classification of Risks in Real Estate Development Business. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 2018, 8(2), 1–8. https://doi.org/10.56261/jars.v8.168607

198. Гаврилов А. Аналіз ризиків, що виникають у процесі будівництва. *Публічне урядування*, 2019, 2 (17), 57-65. https://doi.org/10.32689/2617-2224-2019-17-2-57-65

199. Alizada A., Gurbanova G., Afandiyeva A. Digital technologies in construction project management. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2026. № 1(12). С. 3-9. https://doi.org/10.20998/2413-3000.2026.12.1

200. Saeed S., Altamimi S. A., Alkayyal N. A., Alshehri E., Alabbad D. A. Digital Transformation and Cybersecurity Challenges for Businesses Resilience: Issues and Recommendations. *Sensors*, 2023, 23(15), 6666. https://doi.org/10.3390/s23156666

201. Завитій О. Цифрові компетентності працівників як фактор забезпечення безпеки праці та зниження професійних ризиків. *Європейський науковий журнал Економічних та Фінансових інновацій*, 2026, 3(21), 180-190. https://doi.org/10.32750/2026-0314

Додаток А

Таблиця А.1

Перелік будівельних робіт зі створення об’ємних з/бетонних конструкцій із вищим пріоритетом контролю

Обґрун–тування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	Номенклатура будівельних матеріалів, виробів комплектів од.	Кількість виробничих операцій, од.	Середній розряд робіт
КБ6–1–2	Улаштування бетонних фундаментів загального призначення під колони, об`єм до 3 м3	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	495	246.08676	8	8	3.3
КБ6–1–5	Улаштування залізобетонних фундаментів загального призначення під колони, об`єм до 3 м3	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	582.32	249.40077	10	8	3.3
КБ6–1–10	Улаштування залізобетонних фундаментів загального призначення з підколонниками при висоті підколонника понад 2 м до 4 м, периметром до 5 м	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	456.19	248.91265	12	8	3.3
КБ6–1–11	Улаштування залізобетонних фундаментів загального призначення з підколонниками при висоті підколонника понад 4 м до 10 м, периметром до 5 м	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	650.1	250.61654	12	8	3.3
КБ6–1–12	Улаштування залізобетонних фундаментів загального призначення з підколонниками при висоті підколонника понад 4 м до 10 м, периметром понад 5 м до 10 м	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	515.9	247.74123	12	8	3.3
КБ6–1–13	Улаштування фундаментів–стовпів бетонних	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	598.18	247.39672	8	8	3.3
КБ6–1–14	Улаштування фундаментів–стовпів бутобетонних	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	702.2	199.52388	9	8	3.3
КБ6–1–22	Улаштування стрічкових фундаментів залізобетонних, при ширині по верху до 1000 мм	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	456.33	251.4599	11	8	3.3
КБ6–2–2	Улаштування фундаментів під фабрично–заводські труби: залізобетонних об`ємом понад 50 м3 до 100 м3	100м3 бетону і залізобетону в ділі	502.7	245.7554	11	8	3.3
КБ6–3–1	Улаштування бетонних фундаментів загального призначення об`ємом до 5 м3	100м3 бетону і залізобетону в ділі	464.44	248.07753	9	8	3.3
КБ6–3–4	Улаштування залізобетонних фундаментів загального призначення об`ємом до 5 м3	100м3 бетону і залізобетону в ділі	489.92	248.89053	12	8	3.3
КБ6–4–5	Улаштування фундаментів під устаткування прокатних цехів із листовими станами на ділянках вивантаження печей об`ємом понад 500 м3 до 1500 м3	100м3 залізобетону в ділі	2112	2455.6789	14	8	3.3
КБ6–6–1	Улаштування згущувачів збагачувальних і агломераційних фабрик на колонах, діаметр до 18 м	100м3 залізобетону в ділі	1002.1	270.7906	11	8	3.8
КБ6–6–2	Улаштування згущувачів збагачувальних і агломераційних фабрик на колонах, діаметр понад 18 м до 30 м	100м3 залізобетону в ділі	722.7	259.5227	11	8	3.8
КБ6–6–3	Улаштування згущувачів збагачувальних і агломераційних фабрик на колонах, діаметр понад 30 м до 50 м	100м3 залізобетону в ділі	675.4	261.1505	11	8	3.8
КБ6–6–4	Улаштування згущувачів збагачувальних і агломераційних фабрик на грунті, діаметр до 50 м	100м3 залізобетону в ділі	753.5	254.77484	11	8	3.8
КБ6–7–2	Улаштування фундаментів на підприємствах целюлозно–паперової промисловості під сушильні картоноробні та папероробні машини	100м3 залізобетону в ділі	613.8	255.38328	11	8	3.3
КБ6–7–3	Зведення споруд (комплексів) на підприємствах целюлозно–паперової промисловості: ванн–згущувачів і ванн–фільтрів із товщиною стін до 120 мм	100м3 залізобетону в ділі	1820.5	262.9741	10	8	3.3

КБ6–7–4	Зведення споруд (комплексів) на підприємствах целюлозно–паперової промисловості: ванн–згущувачів і ванн–фільтрів із товщиною стін понад 120 мм до 200 мм	100м3 залізобетону в ділі	1312.3	259.7093	10	8	3.3
КБ6–7–5	Зведення споруд (комплексів) на підприємствах целюлозно–паперової промисловості: масних басейнів ємкістю до 500 м3 прямокутного перерізу	100м3 залізобетону в ділі	715.3	250.8579	11	8	3.3
КБ6–13–3	Улаштування стін підвалів і підпірних стін залізобетонних висотою до 3 м, товщиною до 300 мм	100 м3 залізобетона в ділі	1077.04	255.75377	12	8	3.3
КБ6–13–4	Улаштування стін підвалів і підпірних стін залізобетонних висотою до 3 м, товщиною понад 300 мм до 500 мм	100 м3 залізобетона в ділі	724.24	253.28873	12	8	3.3
КБ6–13–5	Улаштування стін підвалів і підпірних стін залізобетонних висотою до 3 м, товщиною понад 500 мм до 1000 мм	100 м3 залізобетона в ділі	543.16	250.57297	12	8	3.3
КБ6–13–6	Улаштування стін підвалів і підпірних стін залізобетонних висотою понад 3 м до 6 м, товщиною до 300 мм	100 м3 залізобетона в ділі	1131.86	258.68587	12	8	3.3
КБ6–13–7	Улаштування стін підвалів і підпірних стін залізобетонних висотою понад 3 м до 6 м, товщиною понад 300 мм до 500 мм	100 м3 залізобетона в ділі	777.69	256.14163	12	8	3.3
КБ6–13–8	Улаштування стін підвалів і підпірних стін залізобетонних висотою понад 3 м до 6 м, товщиною понад 500 мм до 1000 мм	100 м3 залізобетона в ділі	577.15	252.46197	12	8	3.3
КБ6–13–10	Улаштування стін підвалів і підпірних стін залізобетонних висотою понад 6 м, товщиною до 300 мм	100 м3 залізобетона в ділі	1206.4	260.98907	12	8	3.3
КБ6–13–11	Улаштування стін підвалів і підпірних стін залізобетонних висотою понад 6 м, товщиною понад 300 мм до 500 мм	100 м3 залізобетона в ділі	842.05	258.90843	12	8	3.3
КБ6–13–12	Улаштування стін підвалів і підпірних стін залізобетонних висотою понад 6 м, товщиною понад 500 мм до 1000 мм	100 м3 залізобетона в ділі	604.93	253.74757	12	8	3.3
КБ6–14–1	Улаштування колон бетонних у дерев`яній опалубці висотою до 4 м, периметром до 2 м	100 м3 бетона в ділі	1364	246.74495	7	8	3.6
КБ6–14–2	Улаштування колон бетонних у дерев`яній опалубці висотою до 4 м, периметром понад 2 м до 3 м	100 м3 бетона в ділі	921.8	245.36773	7	8	3.6
КБ6–14–3	Улаштування колон бетонних у дерев`яній опалубці висотою до 4 м, периметром понад 3 м	100 м3 бетона в ділі	624.8	244.835	7	8	3.6
КБ6–14–4	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою до 4 м, периметром до 2 м	100 м3 залізобетона в ділі	1508	254.82295	10	8	3.7
КБ6–14–5	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою до 4 м, периметром понад 2 м до 3 м	100 м3 залізобетона в ділі	1046.9	253.42573	10	8	3.7
КБ6–14–6	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою до 4 м, периметром понад 3 м	100 м3 залізобетона в ділі	732.25	252.873	10	8	3.7
КБ6–14–7	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою понад 4 м до 6 м, периметром до 2 м	100 м3 залізобетона в ділі	2145	259.45195	10	8	3.7
КБ6–14–8	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою понад 4 м до 6 м, периметром понад 2 м до 3 м	100 м3 залізобетона в ділі	1408	258.06673	10	8	3.7
КБ6–14–9	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою понад 4 м до 6 м, периметром понад 3 м до 4 м	100 м3 залізобетона в ділі	993.25	257.74358	10	8	3.7
КБ6–14–10	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою понад 4 м до 6 м, периметром понад 4 м	100 м3 залізобетона в ділі	800.4	257.90206	10	8	3.7
КБ6–14–11	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою понад 6 м, периметром до 2 м	100 м3 залізобетона в ділі	2904	266.04345	12	8	3.7
КБ6–14–12	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою понад 6 м, периметром понад 2 м до 3 м	100 м3 залізобетона в ділі	1529	261.09033	12	8	3.7
КБ6–14–13	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою понад 6 м, периметром понад 3 м до 4 м	100 м3 залізобетона в ділі	1059.3	259.63133	11	8	3.7
КБ6–14–14	Улаштування колон залізобетонних у дерев`яній опалубці висотою понад 6 м, периметром понад 4 м	100 м3 залізобетона в ділі	941.6	259.68836	11	8	3.7
КБ6–14–15	Улаштування колон у дерев`яній опалубці зі стальними сердечниками (жорсткою арматурою) периметром до 2 м при відношенні об`єму сердечника або жорсткої арматури до об`єму колон до 10%	100 м3 бетону і залізобетона в ділі	1624	257.53083	10	8	3.7
КБ6–14–16	Улаштування колон у дерев`яній опалубці зі стальними сердечниками (жорсткою арматурою) периметром до 2 м при відношенні об`єму сердечника або жорсткої арматури до об`єму колон понад 10% до 25%	100 м3 бетону і залізобетона в ділі	1771	259.4628	10	8	3.7
КБ6–14–17	Улаштування колон у дерев`яній опалубці зі стальними сердечниками (жорсткою арматурою) периметром до 2 м при відношенні об`єму сердечника або жорсткої арматури до об`єму колон понад 25% до 40%	100 м3 бетону і залізобетона в ділі	2002	263.83906	10	8	3.7
КБ6–14–18	Улаштування колон у дерев`яній опалубці зі стальними сердечниками (жорсткою арматурою) периметром до 2 м при відношенні об`єму сердечника або жорсткої арматури до об`єму колон понад 40%	100 м3 бетону і залізобетона в ділі	3267	260.90366	10	8	3.7

КБ6–14–19	Улаштування колон у дерев`яній опалубці зі стальними сердечниками (жорсткою арматурою) периметром понад 2 м при відношенні об`єму сердечника або жорсткої арматури до об`єму колон до 10%	100 м3 бетону і залізобетона в ділі	1177	253.9024	11	8	3.7
КБ6–14–20	Улаштування колон у дерев`яній опалубці зі стальними сердечниками (жорсткою арматурою) периметром понад 2 м при відношенні об`єму сердечника або жорсткої арматури до об`єму колон понад 10% до 25%	100 м3 бетону і залізобетона в ділі	1320	255.05057	11	8	3.7
КБ6–14–21	Улаштування колон у дерев`яній опалубці зі стальними сердечниками (жорсткою арматурою) периметром понад 2 м при відношенні об`єму сердечника або жорсткої арматури до об`єму колон понад 25% до 40%	100 м3 бетону і залізобетона в ділі	1595	258.16773	11	8	3.7
КБ6–14–22	Улаштування колон у дерев`яній опалубці зі стальними сердечниками (жорсткою арматурою) периметром понад 2 м при відношенні об`єму сердечника або жорсткої арматури до об`єму колон понад 40%	100 м3 бетону і залізобетона в ділі	2662	256.00131	11	8	3.7
КБ6–15–1	Улаштування колон цивільних будівель у металевій опалубці	100 м3 залізобетона в ділі	1432.44	264.545	6	8	3.7
КБ6–16–1	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою до 3 м, товщиною до 100 мм	100 м3 бетону в ділі	2713.19	254.61699	9	8	3.3
КБ6–16–2	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою до 3 м, товщиною понад 100 мм до 150 мм	100 м3 бетону в ділі	1768.85	250.69232	9	8	3.3
КБ6–16–3	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою до 3 м, товщиною понад 150 мм до 200 мм	100 м3 бетону в ділі	1166.9	249.22899	9	8	3.3
КБ6–16–4	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою до 3 м, товщиною понад 200 мм до 300 мм	100 м3 бетону в ділі	828.2	247.77301	9	8	3.3
КБ6–16–5	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою до 3 м, товщиною понад 300 мм до 500 мм	100 м3 бетону в ділі	616.4	246.97913	9	8	3.3
КБ6–16–6	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою понад 3 м до 6 м, товщиною до 100 мм	100 м3 бетону в ділі	3070.6	254.60593	9	8	3.3
КБ6–16–7	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою понад 3 м до 6 м, товщиною понад 100 мм до 150 мм	100 м3 бетону в ділі	1844.5	250.69232	9	8	3.3
КБ6–16–8	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою понад 3 м до 6 м, товщиною понад 150 мм до 200 мм	100 м3 бетону в ділі	1249.5	249.22899	9	8	3.3
КБ6–16–9	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою понад 3 м до 6 м, товщиною понад 200 мм до 300 мм	100 м3 бетону в ділі	968.66	272.55028	9	8	3.3
КБ6–16–10	Улаштування стін і перегородок бетонних висотою понад 3 м до 6 м, товщиною понад 300 мм до 500 мм	100 м3 бетону в ділі	7068.6	2720.9227	9	8	3.3
КБ6–17–5	Улаштування залізобетонних стін і перегородок бетонних висотою до 3 м, товщиною понад 300 мм до 600 мм	100 м3 залізобетону в ділі	8.52	12.558553	12	8	3.4
КБ6–17–10	Улаштування залізобетонних стін і перегородок бетонних висотою понад 3 м до 6 м, товщиною понад 300 мм до 600 мм	100 м3 залізобетону в ділі	8.78	12.56245	12	8	3.4
КБ6–19–2	Улаштування поясів без опалубки	100 м3 залізобетону в ділі	5.17	87.161999	4	8	3.6
КБ6–20–1	Улаштування засипки фундаментних балок піском	100 м3 засипки	1.8	72.224096	1	8	3
КБ6–20–2	Улаштування засипки фундаментних балок шлаком	100 м3 засипки	1.8	35.1922	1	8	3
КБ6–24–1	Улаштування стін, днищ і перекриттів при відношенні висоти до ширини до 1, при товщині стін до 300 мм	100 м3 залізобетону в ділі	5.52	14.257712	14	12	3.4
КБ6–24–2	Улаштування стін, днищ і перекриттів при відношенні висоти до ширини до 1, при товщині стін понад 300 мм до 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	4.87	11.793442	14	12	3.4
КБ6–24–3	Улаштування стін, днищ і перекриттів при відношенні висоти до ширини до 1, при товщині стін понад 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	4.53	11.750694	14	12	3.4
КБ6–24–4	Улаштування стін, днищ і перекриттів при відношенні висоти до ширини більше 1, при товщині стін до 300 мм	100 м3 залізобетону в ділі	8.24	16.462804	14	12	3.6
КБ6–24–5	Улаштування стін, днищ і перекриттів при відношенні висоти до ширини більше 1, при товщині стін понад 300 мм до 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	6.47	22.399458	14	12	3.6
КБ6–24–6	Улаштування стін, днищ і перекриттів при відношенні висоти до ширини більше 1, при товщині стін понад 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	5.8	12.466038	14	12	3.6
КБ6–24–7	Улаштування стін і днищ при відношенні висоти до ширини до 1, при товщині стін до 300 мм	100 м3 залізобетону в ділі	6.43	15.15488	14	12	3.4
КБ6–24–8	Улаштування стін і днищ при відношенні висоти до ширини до 1, при товщині стін понад 300 мм до 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	5.4	14.080529	14	12	3.4
КБ6–24–9	Улаштування стін і днищ при відношенні висоти до ширини до 1, при товщині стін понад 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	4.79	14.317795	14	12	3.4

КБ6–24–11	Улаштування стін і днищ при відношенні висоти до ширини більше 1, при товщині стін понад 300 мм до 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	6.99	17.746857	14	12	3.6
КБ6–24–12	Улаштування стін і днищ при відношенні висоти до ширини більше 1, при товщині стін понад 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	6.16	17.394525	14	12	3.6
КБ6–31–1	Улаштування стін і перегородок споруд, що зводяться у горизонтально–ковзній опалубці, прямокутних, при товщині стін до 150 мм	100 м3 залізобетону в ділі	6.04	12.437085	11	12	3.3
КБ6–31–2	Улаштування стін і перегородок споруд, що зводяться у горизонтально–ковзній опалубці, прямокутних, при товщині стін понад 150 мм	100 м3 залізобетону в ділі	4.82	19.547519	11	12	3.3
КБ6–31–3	Улаштування стін і перегородок споруд, що зводяться у горизонтально–ковзній опалубці, круглих, при товщині стін до 200 мм	100 м3 залізобетону в ділі	4.73	18.909237	11	11	3.3
КБ6–31–4	Улаштування стін і перегородок споруд, що зводяться у горизонтально–ковзній опалубці, круглих, при товщині стін понад 200 мм	100 м3 залізобетону в ділі	4.13	17.058529	11	11	3.3
КБ6–31–6	Улаштування підпірних стін, що зводяться у горизонтально–ковзній опалубці, при товщині стін понад 250 мм	100 м3 залізобетону в ділі	3.34	13.689029	11	11	3.3
КБ6–33–4	Улаштування стін і плоских днищ при товщині понад 150 мм, прямокутних споруд	100 м3 залізобетону в ділі	8.81	17.058319	12	8	3.8
КБ6–34–5	Спорудження підземної частини насосних станцій: стін прямокутних, товщиною понад 300 мм	100 м3 залізобетону в ділі	8.23	14.145153	13	8	3.4
КБ6–35–5	Улаштування окремих конструкцій ємкісних споруд: плоских днищ при стінах із збірних залізобетонних панелей	100 м3 залізобетону в ділі	6.81	11.45989	11	8	3.5
КБ6–41–1	Улаштування водозбірного басейну одновентиляторних і секційних вентиляторних градирень при збірних стінах	100 м3 залізобетону в ділі	5.18	14.366199	11	13	3.6
КБ6–58–2	Укладання бетонної суміші в конструкції баддями: колони і стояки рам при найменшій стороні поперечного перерізу понад 300 мм до 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	1.89	243.60257	2	6	3.3
КБ6–58–3	Укладання бетонної суміші в конструкції баддями: колони і стояки рам при найменшій стороні поперечного перерізу понад 500 мм	100 м3 залізобетону в ділі	1.46	243.60257	2	6	3.3
КБ6–58–4	Укладання бетонної суміші в конструкції баддями: перекриття безбалкові, площа між осями колон до 10 м2	100 м3 залізобетону в ділі	1.5	243.60257	2	6	3.3
КБ6–58–5	Укладання бетонної суміші в конструкції баддями: перекриття безбалкові, площа між осями колон понад 10 м2 до 20 м2	100 м3 залізобетону в ділі	1.33	243.60257	2	6	3.3
КБ6–58–6	Укладання бетонної суміші в конструкції баддями: перекриття безбалкові, площа між осями колон понад 20 м2	100 м3 залізобетону в ділі	1.2	243.60257	2	6	3.3
КБ6–58–7	Укладання бетонної суміші в конструкції баддями: стіни і перегородки прямолінійні, товщина до 160 мм	100 м3 залізобетону в ділі	3.37	243.60257	2	6	3.5
КБ6–58–8	Укладання бетонної суміші в конструкції баддями: стіни і перегородки прямолінійні, товщина понад 160 мм до 250 мм	100 м3 залізобетону в ділі	2.26	243.60257	2	6	3.5
КБ6–58–9	Укладання бетонної суміші в конструкції баддями: стіни і перегородки прямолінійні, товщина понад 250 мм до 400 мм	100 м3 залізобетону в ділі	1.76	243.60257	2	6	3.5
КБ6–59–1	Укладання бетонної суміші в конструкції бетононасосами: перекриття безбалкові, площа між осями колон до 10 м2	100 м3 залізобетону в ділі	1.31	243.60257	2	7	3.5
КБ6–59–2	Укладання бетонної суміші в конструкції бетононасосами: перекриття безбалкові, площа між осями колон понад 10 м2 до 20 м2	100 м3 залізобетону в ділі	1.14	243.60257	2	7	3.5
КБ6–59–3	Укладання бетонної суміші в конструкції бетононасосами: перекриття безбалкові, площа між осями колон понад 20 м2	100 м3 залізобетону в ділі	1.01	243.60257	2	7	3.5
КБ6–60–1	Укладання бетонної суміші в конструкцію перекриття автобетононасосами	100 м3 залізобетону в ділі	0.27	243.60257	2	5	3.7

Таблиця А.2

Перелік будівельних робіт зі створення площинних з/бетонних конструкцій із вищим пріоритетом контролю

Обґрун–тування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	Кількість виробничих операцій, од.	Середній розряд робіт
КБ6–8–1	Улаштування опалубки (знизу) і підтримуючих її конструкцій для високих ростверків	100м2 площі горизонтальної проекції ростверків	100 м2 поверхні	97.6	0.6548741	8	3.3
КБ6–9–1	Улаштування підливки під устаткування товщиною 20 мм	100м2 підливки під устаткування	100 м2 поверхні	49.28	5.0991994	8	3.4
КБ6–9–2	Улаштування підливки під устаткування. На кожні 10 мм зміни товщини додавати або виключати	100м2 підливки під устаткування	100 м2 поверхні	14.3	2.4849128	8	3.4
КБ6–10–1	Улаштування бетону по перекриттях товщиною 100 мм	100м2 перекриття	100 м2 поверхні	23	24.495323	8	3
КБ6–10–2	Улаштування бетону по перекриттях. На кожні 10 мм зміни товщини додавати або виключати	100м2 перекриття	100 м2 поверхні	1.45	2.4495318	8	3
КБ6–36–1	Оброблення поверхні піскоструменевим апаратом в ємкісних спорудах	100 м2 поверхні	100 м2 поверхні	0.54	0.0450553	1	4
КБ6–36–2	Торкретування поверхні з попереднім піскоструменевим обробленням в ємкісних спорудах при товщині шару до 20 мм	100 м2 поверхні	100 м2 поверхні	1.25	0.132012	**4**	**4**
КБ6–36–3	Додавати на кожні 5 мм зміни товщини шару торкретування поверхні в ємкісних спорудах	100 м2 поверхні	100 м2 поверхні	0.1	0.0228259	1	4
КБ6–36–4	Залізнення поверхні	100 м2 поверхні	100 м2 поверхні	0.32	0.0056079	1	4
КБ6–36–5	Укладання пористих керамічних пластин аераторів	100 м2 поверхні	100 м2 поверхні	1.75	142.55085	**3**	**3.2**
КБ6–8–1	Улаштування опалубки (знизу) і підтримуючих її конструкцій для високих ростверків	100м2 площі горизонтальної проекції ростверків	100 м2 поверхні	97.6	0.6548741	8	3.3
КБ6–9–1	Улаштування підливки під устаткування товщиною 20 мм	100м2 підливки під устаткування	100 м2 поверхні	49.28	5.0991994	8	3.4

Таблиця А.3

Перелік будівельних робіт із армування з/бетонних конструкцій із вищим пріоритетом контролю

Обґрун–тування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	Кількість виробничих операцій	Середній розряд робіт
КБ6–11–1	Установлення анкерних болтів у готові гнізда із заробленням довжиною до 1 м	1 т	1 т арматури	333.3	100	9	3.5
КБ6–11–2	Установлення анкерних болтів у готові гнізда із заробленням довжиною понад 1 м	1 т	1 т арматури	226.6	100	9	3.5
КБ6–11–3	Установлення анкерних болтів при бетонуванні із зав`язками з арматури	1 т	1 т арматури	135.3	100.39	8	3.7
КБ6–11–4	Установлення анкерних болтів при бетонуванні на підтримуючі конструкції	1 т	1 т арматури	37.8	100.3	8	3.7
КБ6–11–5	Установлення анкерних болтів при бетонуванні у вигляді зварених каркасів	1 т	1 т арматури	34.3	100.5	9	3.7
КБ6–11–6	Установлення стальних конструкцій, що	1 т	1 т арматури	43.12	100.7	2	4

	залишаються в тілі бетону						
КБ6–11–7	Установлення закладних деталей вагою до 5 кг	1 т	1 т арматури	231	103.86	3	3.5
КБ6–11–8	Установлення закладних деталей вагою понад 5 кг до 10 кг	1 т	1 т арматури	109.39	103.596	3	3.5
КБ6–11–9	Установлення закладних деталей вагою понад 10 кг до 20 кг	1 т	1 т арматури	70.4	103.342	3	3.5
КБ6–55–4	Установлення арматури окремими стрижнями з в`язаням вузлів з`єднань в плити покриття і перекриття	1 т арматури	1 т арматури	33.36	1.005	11	3.9
КБ6–56–1	Виготовлення арматурних каркасів колон на будівельному майданчику з установленням в конструкцію, діаметр стрижнів робочої арматури від 12 мм до 18 мм, при масі каркасу до 100 кг	1 т арматури	1 т арматури	35.7	1.01478	11	4
КБ6–57–2	Установлення вертикально плоских арматурних сіток і каркасів за допомогою крана, маса елемента понад 100 кг до 200 кг	1 т	1 т арматури	6.68	1.0031001	3	4.2
КБ6–57–3	Установлення вертикально плоских арматурних сіток і каркасів за допомогою крана, маса елемента понад 200 кг до 300 кг	1 т	1 т арматури	4.41	1.0031001	3	4.1
КБ6–57–4	Установлення вертикально плоских арматурних сіток і каркасів за допомогою крана, маса елемента понад 300 кг до 600 кг	1 т	1 т арматури	3.81	1.0030499	3	4
КБ6–57–9	Установлення горизонтально плоских арматурних сіток і каркасів за допомогою крана, маса елемента до 100 кг	1 т	1 т арматури	7.47	1.00313	3	4.3
КБ6–57–10	Установлення горизонтально плоских арматурних сіток і каркасів за допомогою крана, маса елемента понад 100 кг до 200 кг	1 т	1 т арматури	4.02	1.0031001	3	4.1
КБ6–57–11	Установлення горизонтально плоских арматурних сіток і каркасів за допомогою крана, маса елемента понад 200 кг до 300 кг	1 т	1 т арматури	2.82	1.0031001	3	3.8
КБ6–57–12	Установлення горизонтально плоских арматурних сіток і каркасів за допомогою крана, маса елемента понад 300 кг до 600 кг	1 т	1 т арматури	2.75	1.0030499	3	3.8
КБ6–57–15	Установлення горизонтально арматурних просторових каркасів за допомогою крана, маса елемента понад 200 кг до 300 кг	1 т	1 т арматури	10.98	1.0031001	3	4.4
КБ6–57–16	Установлення горизонтально арматурних просторових каркасів за допомогою крана, маса елемента понад 300 кг до 600 кг	1 т	1 т арматури	10.92	1.0030499	3	4.4
КБ6–57–19	Установлення арматурних сіток і каркасів вручну, маса елемента понад 50 кг до 100 кг	1 т	1 т арматури	8.28	1.00299	4	3.2
КБ6–58–1	Укладання бетонної суміші в конструкції баддями: колони і стояки рам при найменшій стороні поперечного перерізу до 300 мм	100 м3 залізобетону в ділі	1 т арматури	2.65	243.60257	6	3.4

Додаток Б

Кореляційні матриці параметрів будівельної продукції
Б.1. Конструкції з монолітного залізобетону для нового будівництва

Таблиця Б.1.1

По залізобетонних роботах в цілому

Фактор	Середнє значення по вибірці	Стандартне відхилення по вибірці	Кількість виробничих операцій, од.	Середній розряд робіт	Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.
Кількість основних і допоміжних операцій	8.0931	4.3155	1.0000	**0.2272**	–0.0076	–0.0242	**0.3458**
Середній розряд робіт	3.3551	0.7205		1.0000	0.0710	0.0288	**0.2388**
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	256.3925	620.4385			1.0000	**0.7283**	**0.2275**
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	95.7456	214.2823				1.0000	**0.1994**
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	7.7074	4.2161					1.0000

Таблиця Б.1.2

По об’ємних залізобетонних конструкціях

Фактор	Середнє значення по вибірці	Стандартне відхилення по вибірці	Кількість виробничих операцій, од.	Середній розряд робіт	Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.
Кількість основних і допоміжних операцій	9.1837	2.9188	1.0000	**0.4901**	**–0.2043**	**–0.2433**	**0.1960**
Середній розряд робіт	3.5298	0.3099		1.0000	–0.0895	**–0.2150**	**0.1304**
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	382.7502	737.8827			1.0000	**0.7076**	0.0261
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	139.5374	253.4632				1.0000	–0.0215
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	10.0694	3.1440					1.0000

Таблиця Б.1.3

По площинних залізобетонних конструкціях

Фактор	Середнє значення по вибірці	Стандартне відхилення по вибірці	Кількість виробничих операцій, од.	Середній розряд робіт	Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.
Кількість основних і допоміжних	5.00000	3.29983	1.0000	**–0.7964**	0.5806	–0.1363	0.3561

операцій							
Середній розряд робіт	3.53000	0.42701		1.0000	–0.3536	–0.3650	–0.4361
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	18.95900	31.79878			1.0000	–0.734	0.4566
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	17.79402	44.46362				1.0000	0.5100
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	4.20000	1.22927					1.0000

Таблиця Б.1.4

По арматурних роботах

Фактор	Середнє значення по вибірці	Стандартне відхилення по вибірці	Кількість виробничих операцій, од.	Середній розряд робіт	Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.
Кількість основних і допоміжних операцій	6.47727	5.56354	1.0000	**–0.3466**	0.0916	0.1714	**0.4448**
Середній розряд робіт	3.89318	0.38301		1.0000	**–0.3620**	**–0.4564**	**–0.3131**
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	41.47227	67.13263			1.0000	**0.4748**	–0.1204
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	29.40659	53.79319				1.0000	0.0502
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	2.27273	0.58523					1.0000

Таблиця Б.1.5

По інших залізобетонних роботах

Фактор	Середнє значення по вибірці	Стандартне відхилення по вибірці	Кількість виробничих операцій, од.	Середній розряд робіт	Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.
Кількість основних і допоміжних операцій	5.948052	5.87120	1.0000	0.1059	0.0316	–0.0410	0.0846
Середній розряд робіт	2.468831	1.04066		1.0000	**0.2675**	–0.0854	0.0724
Витрати труда робітників–будівельників, люд.год	7.992078	23.28325			1.0000	**0.8951**	–0.0139
Маса будівельних матеріалів, виробів, комплектів, т	4.439529	21.45740				1.0000	–0.1157
Номенклатура будівельних матеріалів, виробів, комплектів, од.	3.753247	1.74835					1.0000

Додаток В

ТОВ « БУДІВЕЛЬНА КОМПАНІЯ « ІНЖТЕХБУД»
Україна, 07400, м.Бровари Київська область, вул.Воїнів – афганців,2,
Рахунок №UA253052990000026000010133926 АТ КБ "ПРИВАТБАНК",
код ЄДРПОУ 42216980, ІНН 422169810297

22 травня 2026, вих. № 03-01

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження Распутного Д.С. на тему «Цифровий інструментарій управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів»

Теоретичні результати та практичні рекомендації стосовно розроблення та впровадження цифрового інструментарію управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів в умовах цифрової трансформації економіки використовуються в ТОВ БК ІнжТехБуд у процесі вдосконалення господарської діяльності, підвищення ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів та оптимізації управління ресурсами.

Розроблена в роботі концептуальна модель цифрового управління економічними параметрами проєкту на основі інтеграції цифрового інформаційного середовища та систем підтримки прийняття рішень забезпечує практичний інструмент для оперативної координації учасників будівництва, прогнозування витрат та управління вартісними, часовими і ресурсними показниками в режимі реального часу.

Запропонований науково-методичний підхід до цифрового управління ризиками та оцінювання трудомісткості будівельних робіт із використанням апарату нечітких множин і нечітких чисел другого типу дає змогу практично реалізувати випереджувальний моніторинг відхилень фактичних параметрів від проєктних вимог. Його застосування сприяє ранньому виявленню потенційних ризиків, мінімізації впливу невизначеності зовнішнього і внутрішнього середовища, зниженню непродуктивних витрат та підвищенню загальної економічної результативності проєктної діяльності.

Використання розроблених автором рекомендацій щодо оцінювання цифрової зрілості учасників будівництва дозволяє обґрунтовано підходити до вибору стратегій цифрової трансформації бізнес-процесів підприємства та забезпечувати стале управління економічною ефективністю будівельного виробництва.



Директор
Сіробаба С.В.

КИЇВГРАДОСЕРВІС
БУДІВЕЛЬНА КОМПАНІЯ

02660, м. Київ, вул. Є. Сверстюка, 4а, ЄДРПОУ 40380218, ІПН 403802110318
(044) 503-31-84, (067) 537-92-92 office@kgs.org.ua, http://www.kgs.org.ua

Вих.№ 30/04/26-3 від 30 квітня 2026р.

ДОВІДКА

Результати дисертаційного дослідження Дана РАСПУТНОГО, що подане на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 – Економіка, прийнято до практичного використання та впроваджено в систему управління інвестиційно-будівельною діяльністю ТОВ «БК КИЇВГРАДОСЕРВІС» під час реалізації об'єктів житлово-цивільного будівництва.

Зокрема, у виробничу та управлінську практику підприємства було впроваджено:

1. Інтегровану систему цифрового моніторингу та управління на основі BIM-технологій та інструментів CDE/ERP. Завдяки застосуванню цифрового середовища та параметричного моделювання процесів узгодження проєктно-кошторисних рішень оптимізовано тривалість передпроєктного та проєктного етапів інвестиційного циклу, а також зменшено обсяг неузгодженостей і колізій у проєктній документації, що дало змогу уникнути додаткових перевитрат під час виконання робіт на будівельному майданчику.
2. Науково-методичний підхід до ризик-орієнтованого управління трудомісткістю з використанням апарату нечітких множин (Fuzzy Logic). Впровадження моделі зонування допустимих та критичних відхилень трудових витрат при виконанні монолітних залізобетонних робіт дозволило здійснювати оперативне виявлення технологічних відхилень на ранніх стадіях. Це забезпечило підвищення точності прогнозування кошторисної вартості робіт та зменшення непродуктивних втрат робочого часу й матеріальних ресурсів.
3. Методику оцінювання цифрової зрілості суб'єктів будівельного проєкту (інтегральний індекс цифрової зрілості). Інструмент дав змогу оптимізувати взаємодію із субпідрядними організаціями та проєктувальниками, знизити ризики зриву термінів виконання робіт і забезпечити загальне зменшення операційних та управлінських витрат підприємства в межах досліджуваних проєктів.

Застосування розробленого цифрового інструментарію в діяльності ТОВ «БК КИЇВГРАДОСЕРВІС» сприяло підвищенню загальної економічної результативності, ефективному управлінню ресурсами та оптимізації процесів реалізації проєктно-будівельних робіт.

Директор ТОВ «БК КИЇВГРАДОСЕРВІС» _____ Аніщенко Є.В.

МОН
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

просп. Повітряних Сил, 31,
м. Київ, 03037
тел.: +38 (044) 248-32-65,
e-mail: knuba@knuba.edu.ua;
web: knuba.edu.ua
ЄДРПОУ 02070909

КНУБА

ДОВІДКА
про впровадження у навчальний процес результатів дисертаційного дослідження Распутного Дана Сергійовича

Цією довідкою посвідчуємо, що окремі наукові висновки, результати та рекомендації дисертаційної роботи аспіранта 4-го року навчання спеціальності 051 «Економіка» **Распутного Дана Сергійовича** на тему **«Цифровий інструментарій управління економічними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів»** були впроваджені при підготовці лекцій з дисциплін: «Економіка будівництва» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» ОПП «Технології будівельного інформаційного моделювання у промисловому та цивільному будівництві» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти та «Управління ризиками учасників будівельних проєктів» для студентів спеціальності 051 «Економіка» ОПП «Економіка підприємства» другого (магістерського) рівня вищої освіти.

Апробація результатів дослідження здійснювалася у 2024–2026 роках під час освітнього процесу на будівельному факультеті КНУБА шляхом використання наукових положень, висновків і рекомендацій автора при підготовці навчально-методичних матеріалів, розробці лекційних курсів, практичних завдань та прикладних кейсів.

Результати дисертації також були використані під час виконання науково-дослідних тем: «Розробка інжинірингового інструментарію для інвестиційно-будівельних проектів» (держ. реєстрація 0124U005197) – автором розроблено науково-методичні засади та інструментарій для оптимізації економічних параметрів, ризик-менеджменту і впровадження BIM-технологій; «Сучасні парадигми та креативні технології формування стратегій учасників проєктів і програм в будівництві» (держ. реєстрація 0123U103887) – автором обґрунтовано підходи до формування стратегій учасників із використанням цифрових технологій, BIM та ризик-менеджменту; «Механізми цифрової трансформації будівництва на макро-, мезо- та мікроекономічних рівнях» (держ. реєстрація 0119U103843) – автором розроблено рекомендації щодо застосування BIM, цифрових платформ і управління ризиками на мікро- та мезорівнях.

У навчальний процес інтегровано розроблені автором науково-методичні підходи щодо: інтеграції цифрового середовища (BIM, GIS, IoT, ERP, CDE, Digital Twin) в управління економічними параметрами проєктів; застосування апарату нечітких множин для оцінювання ризиків та аналізу трудомісткості будівельних робіт; оцінювання рівня цифрової зрілості учасників будівництва та його впливу на ефективність ризик-менеджменту.

Впровадження результатів наукової роботи Распутного Д.С. дозволило поглибити зміст підготовки здобувачів вищої освіти в частині стратегічного управління, антикризового менеджменту та превентивного захисту бізнесу від ринкових загроз в умовах повоєнного відновлення України. Отримані результати мають вагоме значення для модернізації освітнього процесу та розвитку методичного забезпечення кафедри.

Проректор з НМР Андрій ШПАКОВ

№3110/52-21/3/26 від 05.10.2026

Додаток Г

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних наукових виданнях, що увійшли до переліку наукових фахових видань України:

1. Титок В.В., **Распутний Д.С.** Імперативи управління розвитком підприємств в умовах цифровізації економіки. *Цифрова економіка та* економічна безпека, 2023, 7(08), 75-79. https://doi.org/10.32782/dees.7-12 *Особистий внесок здобувача: здійснено аналіз індексу цифрової конкурентоспроможності України та показників діяльності підприємств в умовах цифровізації економіки, а також визначено імперативи й принципи управління їхнім розвитком.*

2. **Распутний Д.С.**, Коваль О.О., Пилюта В.О. SWOT-аналіз цифрової зрілості учасників будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023, 52(1), 227-237. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).227-237. *Особистий внесок здобувача: проведено комплексний SWOT-аналіз цифрової зрілості ключових учасників інвестиційно-будівельних проєктів (девелоперів, підрядників і проєктувальників) та визначено їхні сильні й слабкі сторони, можливості та загрози в умовах цифрової трансформації галузі.*

3. Філіппов О.В., **Распутний Д.С.** Цифровий інструментарій управління якістю будівництва на основі теорії нечітких множин. *Нові технології в будівництві*, 2024, 45, 83-93. https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.45.12. *Особистий внесок здобувача: розроблено та обґрунтовано науково-методичний підхід до моделювання трудомісткості малярних робіт і формуванні цифрового інструментарію управління якістю будівництва на основі поєднання статистичних методів і апарату теорії нечітких множин.*

4. Чертков О.Ю., Шумак Л.В., **Распутний Д.С.** Аналіз факторів впливу на ефективність проектних рішень. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024, 53(2), 123-141. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(2).123-141. *Особистий внесок здобувача: досліджено та*

систематизовано зовнішні і внутрішні фактори, що впливають на ефективність проєктних рішень у будівництві, а також у розроблено авторські таблиці і методичні кроки щодо вдосконалення проєктної діяльності в умовах ринкових відносин.

5. **Распутний Д.С.**, Титок В.В. Оцінка економічної ефективності використання технологій інформаційного моделювання будівель на різних етапах життєвого циклу інвестиційно-будівельних проектів. *Наукові записки Львівського університету бізнесу та права*, 2025, (45), 598-608. https://doi.org/10.5281/zenodo.17155723. *Особистий внесок здобувача: визначено ролі та оцінно-економічну ефективність застосування технологій інформаційного моделювання будівель (BIM) для оптимізації строків, витрат і забезпечення якості на різних етапах життєвого циклу інвестиційно-будівельних проєктів.*

6. Чертков О.Ю., **Распутний Д.С.** Ризики, що впливають на досягнення цілей будівельних організацій-генпідрядників при реалізації інвестиційно-будівельних проєктів у контексті застосування цифрових технологій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва,* 2025, 56(1), 219-223. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).219-223. *Особистий внесок здобувача: визначено ризики, що впливають на досягнення цілей будівельних організацій-генпідрядників при реалізації інвестиційно-будівельних проєктів у контексті застосування цифрових технологій, та запропоновано рекомендації щодо створення інтегрованої системи цифрового ризик-менеджменту для підвищення ризикостійкості компаній.*

Монографії:

7. Распутний Д.С. Цифрове управління параметрами будівництва (на прикладі монолітних робіт). *Цифрова трансформація будівництва: стратегічна адженда організаційно-економічного розвитку:* колективна монографія /за загальною редакцією С. П. Стеценка. Київ: Видавництво Людмила, 2026. 460 с. ISBN 978-617-555-402-9

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації: тези доповідей на конференціях:

8. **Распутний Д.С.**, Беседа М.В., Тимофєєв Д.В. Діяльність стейкхолдерів будівельних проектів на засадах інноваційної моделі розвитку. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу: матеріали доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Київ, 7-8 листопада 2023 року) у 2-х ч. / за заг. ред. В. М. Лича. Ч. 1. Київ: КНУБА, 2023. С. 245-248. *Особистий внесок здобувача: запропоновано напрями взаємодії стейкхолдерів будівельних проєктів на засадах інноваційної моделі розвитку, що враховують їхню цифрову зрілість та особливості реалізації завдань в умовах цифрової трансформації галузі.*

9. **Распутний Д.С.**, Беседа М.В., Тимофєєв Д.В. Вплив стейкхолдерів будівельних проектів на економічну безпеку девелопера. *Програма та тези доповідей. Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології: Міжнародний науково-технічний форум* (15-16 листопада 2023 р., м. Київ). – Київ: Видавництво Ліра-К, 2023. С. 442. *Особистий внесок здобувача: визначено вплив стейкхолдерів будівельних проєктів на економічну безпеку девелопера та обґрунтовано організаційно-економічні заходи щодо мінімізації їх деструктивного впливу для забезпечення стійкого розвитку будівельного підприємства.*

10. Сиволап Ю.В., **Распутний Д.С.** Роль BIM у забезпеченні безпеки будівництва. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу: матеріали доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Київ, 5-6 листопада 2024 року) у 2-х ч. / за заг. ред. В. М. Лича. Ч. 1. Київ: КНУБА, 2024. С. 344-347. *Особистий внесок здобувача: визначено роль та значення технологій інформаційного моделювання (BIM) у забезпеченні безпеки та ризик-орієнтованого управління інвестиційно-будівельними проєктами на різних етапах їх життєвого циклу.*

11. **Распутний Д.С.** Використання BIM для забезпечення координації між учасниками будівельного процесу. *Програма Круглого столу "Економічні,*

облікові, організаційно-технологічні, цифрові та комунікаційні аспекти поліпшення освітнього та наукового процесів як передумови трансформації будівельної галузі" 29 жовтня 2024 р., м. Київ. С. 27.

12. **Распутний Д.С.** LEAN construction в життєвому циклі інвестиційно-будівельних проєктів. *Програма та тези доповідей. Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент:* Міжнародний науково-технічний форум (24-25 листопада 2025 р., м. Київ). – Київ: Видавництво Ліра-К, 2025. С. 477-478

13. Титок В.В., **Распутний Д.С.** Оптимізація інвестиційно-будівельних проєктів: BIM-технології як фактор інноваційного розвитку підприємств. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу*: матеріали доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 4-5 листопада 2025 року) / за заг. ред. В.М. Лича, Л.О. Згалат-Лозинської. Київ: КНУБА, 2025. С. 495-496. *Особистий внесок здобувача: визначено роль та ефективність впровадження BIM-технологій як ключового фактора інноваційного розвитку підприємств і оптимізації процесів реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.*