КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Олійник Валерій Миколайович

УДК 69.003:658.512.2:620.9

ДИСЕРТАЦІЯ

НАУКОВО ПРИКЛАДНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ ЕНЕРГОКРИЗИ

192 – Будівництво та цивільна інженерія

19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

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

_В.М. Олійник

Науковий керівник: **Пилипчук Ольга Дмитрівна**

кандидат технічних наук

Ємельянова Олена Миколаївна

кандидат наук з державного управління, доцент

КИЇВ – 2026

АНОТАЦІЯ

Олійник В. М. Науково прикладний інструментарій визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженері». – Київський національний університет будівництва і архітектури МОН України, Київ, 2026.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи шляхом розроблення авторського науково-прикладного інструментарію адаптивного управління календарними параметрами реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

Актуальність дослідження зумовлена суттєвими змінами умов функціонування будівельної галузі України, що виникли внаслідок воєнних дій, руйнування об'єктів енергетичної інфраструктури, нестабільності енергозабезпечення, дефіциту трудових ресурсів, порушення логістичних ланцюгів постачання та необхідності реалізації масштабних програм реконструкції й післявоєнного відновлення. За таких умов забезпечення нормативної тривалості будівництва стає одним із ключових факторів ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, а традиційні підходи до календарного планування, які ґрунтуються на припущенні стабільності виробничого середовища, втрачають свою практичну ефективність.

Проведений аналіз сучасних наукових досліджень засвідчив, що існуючі методи визначення тривалості будівництва переважно орієнтовані на функціонування будівельного виробництва в умовах відносно стабільного ресурсного забезпечення та практично не враховують комплексний вплив режимів енергозабезпечення, неритмічності виконання робіт, необхідності адаптивного перерозподілу трудових ресурсів, зміни критичності будівельних процесів і сценарного характеру реалізації будівельних проєктів. Це обумовлює

необхідність переходу від традиційного нормативного визначення тривалості будівництва до адаптивного управління календарними параметрами проєкту на основі комплексного врахування організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів.

Наукова ідея дослідження ґрунтується на положенні, відповідно до якого тривалість будівництва в умовах енергокризи доцільно розглядати не як фіксований результат нормативного розрахунку, а як адаптивний керований параметр, що формується в процесі прийняття організаційно-технологічних рішень залежно від змін ресурсного забезпечення, режимів енергопостачання та сценаріїв реалізації будівельного проєкту. Реалізація такого підходу створює методологічні передумови для розроблення інтегрованого науково-прикладного інструментарію, який забезпечує підвищення достовірності прогнозування строків будівництва, ефективності використання ресурсів і обґрунтованості управлінських рішень в умовах нестабільного виробничого середовища.

Актуальність теми Будівельна галузь є однією з базових складових національної економіки, від ефективності функціонування якої залежить розвиток виробничої та соціальної інфраструктури, реалізація інвестиційно-будівельних проєктів, забезпечення сталого економічного розвитку держави та відновлення територій, що зазнали руйнувань унаслідок воєнних дій. В умовах післявоєнної відбудови України особливого значення набуває проблема забезпечення своєчасної реалізації будівельних проєктів, оскільки тривалість будівництва безпосередньо впливає на ефективність використання фінансових, матеріально-технічних, трудових та енергетичних ресурсів, а також визначає темпи відновлення об'єктів житлової, транспортної, промислової та соціальної інфраструктури.

Сучасні умови функціонування будівельної галузі характеризуються високим рівнем невизначеності, що обумовлений нестабільністю енергетичного забезпечення, дефіцитом трудових ресурсів, порушенням логістичних ланцюгів постачання, неритмічністю виконання будівельних процесів, зміною технологічної послідовності виконання робіт та необхідністю оперативного

коригування календарних графіків. Сукупний вплив зазначених чинників призводить до істотного збільшення фактичної тривалості будівництва, зниження ефективності організаційно-технологічних рішень, втрати продуктивності будівельного виробництва та зростання ризиків невиконання інвестиційно-будівельних проєктів у встановлені строки.

Проведений аналіз наукових досліджень свідчить, що існуючі методи визначення тривалості будівництва переважно базуються на нормативних або детермінованих підходах і розроблялися для умов відносно стабільного функціонування будівельного виробництва. Такі методи недостатньо враховують комплексний вплив режимів енергозабезпечення, ресурсних обмежень, змінної критичності будівельних процесів, необхідності адаптивного перерозподілу трудових ресурсів та сценарного характеру реалізації будівельних проєктів, що істотно обмежує можливості їх практичного застосування в сучасних умовах.

За таких умов виникає об'єктивна потреба у розвитку теоретичних і методичних засад управління тривалістю будівництва, заснованих на принципах адаптивності, системності та інтегрованого врахування організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів. Реалізація такого підходу потребує створення науково-прикладного інструментарію, здатного забезпечити формалізацію процесів визначення та оптимізації тривалості будівництва, підтримку прийняття управлінських рішень, формування альтернативних сценаріїв реалізації проєктів і оперативне коригування календарних параметрів відповідно до змін виробничого середовища.

Саме цим обумовлена актуальність дисертаційного дослідження, яке спрямоване на вирішення актуальної науково-прикладної проблеми визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи шляхом розроблення авторського науково-прикладного інструментарію адаптивного управління календарними параметрами реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

Мета дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення та наукове обґрунтування інтегрованого авторського науково-прикладного інструментарію

визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи, який забезпечує адаптивне управління календарними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів на основі комплексного врахування організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі вирішено комплекс взаємопов'язаних наукових завдань, що охоплюють аналіз сучасного стану наукових досліджень і практики визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи; формування теоретико-методологічних засад адаптивного управління тривалістю будівництва та наукової гіпотези дослідження; розроблення концепції інтегрованого авторського науково-прикладного інструментарію; створення організаційно-технологічних моделей, математичного апарату, алгоритмів та методики функціонування інструментарію; а також виконання його практичної апробації та оцінювання ефективності запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є процеси організації та управління реалізацією інвестиційно-будівельних проєктів в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є теоретичні, методичні та прикладні засади визначення й оптимізації тривалості будівництва, організаційно-технологічні моделі, математичний апарат, алгоритми та авторський науково-прикладний інструментарій адаптивного управління календарними параметрами будівельних проєктів в умовах енергокризи.

Методи дослідження. Методологічною основою дослідження є системний, процесний, ресурсний та сценарний підходи до аналізу організації будівельного виробництва. Для досягнення поставленої мети використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, зокрема методи системного аналізу, аналізу та синтезу, організаційно-технологічного й економіко-математичного моделювання, мережевого та календарного планування, сценарного й імітаційного моделювання, порівняльного аналізу, експертного оцінювання, а також методи цифрового моделювання будівельних

процесів, що забезпечили розроблення, формалізацію та практичну апробацію авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні актуальної науково-прикладної проблеми визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи шляхом розроблення інтегрованого авторського науково-прикладного інструментарію адаптивного управління календарними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів. Уперше розроблено інтегрований авторський науково-прикладний інструментарій, який поєднує концепцію адаптивного управління, організаційно-технологічні моделі, математичний апарат, механізми згортання будівельних потоків, модель адаптивного перерозподілу трудових ресурсів, алгоритми визначення та оптимізації тривалості будівництва й методику функціонування інструментарію. Удосконалено математичний апарат визначення та оптимізації тривалості будівництва, організаційно-технологічні моделі адаптивного управління та алгоритм сценарного вибору організаційно-технологічних рішень. Набули подальшого розвитку науково-методичні підходи до адаптивного управління тривалістю будівництва, класифікації будівельних процесів за рівнем енергетичної залежності та використання механізмів адаптивного перерозподілу трудових ресурсів у системі організації будівельного виробництва.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання розробленого авторського науково-прикладного інструментарію при плануванні та реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, реконструкції та відбудові об'єктів в умовах нестійкого ресурсного й енергетичного забезпечення. Запропоновані моделі, алгоритми та методика функціонування інструментарію забезпечують підвищення достовірності прогнозування тривалості будівництва, обґрунтованості управлінських рішень, ефективності використання трудових

ресурсів, зниження ризику порушення календарних графіків та підвищення адаптивності управління будівельними процесами.

Практична апробація результатів дослідження. Практичну апробацію авторського науково-прикладного інструментарію виконано на реальному об'єкті реконструкції в місті Києві, де підтверджено його працездатність, ефективність та можливість практичного застосування в умовах нестабільного енергетичного забезпечення. Отримані результати засвідчили підвищення ефективності календарного планування, скорочення втрат тривалості будівництва та підтвердили сформульовану наукову гіпотезу дослідження.

Практичне використання результатів. Одержані результати можуть бути використані будівельними, проєктними та девелоперськими організаціями, органами державної влади й місцевого самоврядування, підприємствами, що реалізують інвестиційно-будівельні проєкти, а також у науковій та освітній діяльності закладів вищої освіти під час підготовки фахівців за спеціальністю **192 «Будівництво та цивільна інженерія»**.

У **першому розділі** виконано аналіз сучасного стану наукових досліджень, нормативно-методичного забезпечення та практики визначення тривалості будівництва в умовах нестабільного ресурсного й енергетичного забезпечення. Досліджено вплив енергокризи на організацію будівельного виробництва, проаналізовано існуючі методи календарного планування та встановлено їх основні обмеження щодо використання в умовах змінного виробничого середовища. Обґрунтовано необхідність розроблення адаптивних підходів до визначення та оптимізації тривалості будівництва.

У **другому розділі** сформовано теоретико-методологічні засади дослідження, обґрунтовано концепцію адаптивного управління тривалістю будівництва та сформульовано наукову гіпотезу дослідження. Розроблено концептуальні положення визначення тривалості будівництва як адаптивного керованого параметра, що формується під комплексним впливом організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів, а також сформовано структурно-логічну модель дослідження.

У **третьому розділі** розроблено авторський інтегрований науково-прикладний інструментарій визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи. Запропоновано організаційно-технологічні моделі адаптивного управління, математичний апарат визначення тривалості будівництва, механізми згортання та повторного розгортання будівельних потоків, модель адаптивного перерозподілу трудових ресурсів, алгоритм визначення та оптимізації тривалості будівництва, а також методику функціонування авторського інструментарію.

У **четвертому розділі** виконано практичну апробацію розробленого авторського науково-прикладного інструментарію на реальному об'єкті реконструкції. Оцінено ефективність запропонованих моделей, алгоритмів і методики, підтверджено їх практичну придатність та ефективність, а також доведено можливість використання авторського інструментарію для підвищення ефективності управління тривалістю будівництва в умовах енергетичної нестабільності. Результати апробації підтвердили сформульовану наукову гіпотезу та досягнення поставленої мети дослідження.

У результаті виконаного дослідження вирішено актуальну науково-прикладну проблему визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи шляхом розроблення інтегрованого авторського науково-прикладного інструментарію адаптивного управління календарними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів. Розроблений інструментарій поєднує організаційно-технологічні моделі, математичний апарат, алгоритми адаптивного управління, механізми згортання та повторного розгортання будівельних потоків, модель адаптивного перерозподілу трудових ресурсів і методику функціонування, що забезпечує комплексне врахування ресурсних, енергетичних та організаційно-технологічних факторів при визначенні тривалості будівництва.

Практична апробація підтвердила працездатність, ефективність та практичну придатність розробленого інструментарію до використання при реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах нестійкого енергетичного

забезпечення. Отримані результати підтвердили сформульовану наукову гіпотезу та засвідчили, що застосування запропонованих моделей, алгоритмів і методики дозволяє підвищити достовірність прогнозування тривалості будівництва, ефективність використання трудових ресурсів, обґрунтованість організаційно-технологічних рішень та адаптивність календарного планування в умовах динамічних змін виробничого середовища.

Одержані наукові результати розвивають теоретичні та методичні засади організації будівельного виробництва, мають практичну цінність для замовників будівництва, проєктних і підрядних організацій, органів державного управління та інших учасників реалізації інвестиційно-будівельних проєктів і можуть бути використані при реалізації проєктів нового будівництва, реконструкції та післявоєнного відновлення інфраструктури України.

Ключові слова: тривалість будівництва, організація будівництва, інвестиційно-будівельний проєкт, енергокриза, календарне планування, адаптивне управління, організаційно-технологічні рішення, математичне моделювання, будівельні потоки, трудові ресурси, оптимізація, інформаційне моделювання будівель, BIM, цифрова трансформація будівництва.

ABSTRACT

Oliinyk V.M. Scientific and Applied Toolkit for Determining Construction Duration under Energy Crisis Conditions. – Qualifying scientific work submitted as a manuscript.

Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of **Doctor of Philosophy** in Specialty **192 "Construction and Civil Engineering."** – Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2026.

The dissertation is devoted to solving the relevant scientific and applied problem of determining and optimizing construction duration under energy crisis conditions through the development of an original scientific and applied toolkit for the adaptive management of scheduling parameters in investment and construction projects.

The relevance of the research is determined by significant changes in the operating environment of Ukraine's construction industry caused by military actions, destruction of energy infrastructure facilities, instability of energy supply, shortage of labour resources, disruption of logistics chains, and the necessity to implement large-scale reconstruction and post-war recovery programmes. Under such conditions, ensuring the planned construction duration has become one of the key factors affecting the efficiency of investment and construction projects, while traditional scheduling approaches based on the assumption of a stable production environment have largely lost their practical applicability.

The analysis of contemporary scientific research has demonstrated that the existing approaches to determining construction duration are primarily oriented toward relatively stable construction environments and do not adequately consider the combined influence of energy supply regimes, irregular construction processes, adaptive labour redistribution, changes in the criticality of construction activities, and the scenario-based nature of project implementation. Consequently, there is a clear need to move from conventional normative estimation of construction duration to adaptive management of project scheduling parameters based on the integrated

consideration of organizational, technological, resource, energy-related, and information-analytical factors.

The scientific concept of the research is based on the assumption that, under energy crisis conditions, construction duration should not be considered a fixed result of normative calculations but rather an adaptive controllable parameter formed through organizational and technological decision-making depending on resource availability, energy supply conditions, and alternative project implementation scenarios. The implementation of this concept creates methodological prerequisites for developing an integrated scientific and applied toolkit capable of improving the accuracy of construction duration forecasting, increasing resource utilization efficiency, and enhancing the validity of managerial decision-making under unstable production conditions.

Research Relevance. The construction industry constitutes one of the fundamental sectors of the national economy, determining the development of industrial and social infrastructure, the implementation of investment and construction projects, sustainable economic development, and the recovery of territories damaged by military actions. In the context of Ukraine's post-war reconstruction, ensuring the timely completion of construction projects has become particularly important, since construction duration directly affects the efficiency of financial, material, labour, and energy resource utilization while determining the pace of reconstruction of residential, transport, industrial, and social infrastructure facilities.

The contemporary construction environment is characterized by a high level of uncertainty caused by unstable energy supply, labour shortages, disruptions in logistics chains, irregular construction processes, changes in technological sequences, and the necessity for continuous adjustment of construction schedules. The cumulative impact of these factors leads to substantial increases in actual project duration, reduced efficiency of organizational and technological decisions, decreased productivity of construction operations, and increased risks of failing to complete investment and construction projects within the established deadlines.

The conducted analysis of scientific literature demonstrates that existing methods for determining construction duration are mainly based on normative or deterministic approaches developed for relatively stable production environments. These methods fail to comprehensively account for the influence of energy supply conditions, resource constraints, varying criticality of construction processes, adaptive labour redistribution, and scenario-based project implementation, which considerably limits their practical applicability under current conditions.

Therefore, there is an objective necessity to further develop the theoretical and methodological foundations of construction duration management based on the principles of adaptability, system integration, and comprehensive consideration of organizational, technological, resource, energy-related, and information-analytical factors. The implementation of such an approach requires the development of a scientific and applied toolkit capable of formalizing the processes of determining and optimizing construction duration, supporting managerial decision-making, generating alternative implementation scenarios, and adaptively adjusting project scheduling parameters according to changes in the production environment.

Accordingly, the dissertation addresses the relevant scientific and applied problem of determining and optimizing construction duration under energy crisis conditions through the development of an original scientific and applied toolkit for adaptive management of construction scheduling parameters.

Aim of the Research. The aim of the dissertation is to develop and scientifically substantiate an integrated original scientific and applied toolkit for determining and optimizing construction duration under energy crisis conditions, ensuring the adaptive management of scheduling parameters for investment and construction projects through the comprehensive consideration of organizational, technological, resource-related, energy-related, and information-analytical factors.

Research Objectives. To achieve the stated aim, the dissertation addresses a set of interrelated scientific objectives, including the analysis of the current state of scientific research and engineering practice in determining construction duration under energy crisis conditions; the development of theoretical and methodological

foundations for adaptive construction duration management and the formulation of the research hypothesis; the development of the concept of an integrated original scientific and applied toolkit; the creation of organizational and technological models, a mathematical framework, algorithms, and an operational methodology for the toolkit; as well as its practical validation and evaluation of the effectiveness of the proposed solutions.

Object of the Research. The object of the research is the processes of organization and management of investment and construction project implementation under conditions of unstable resource availability and energy supply.

Subject of the Research. The subject of the research comprises the theoretical, methodological, and applied principles of determining and optimizing construction duration, organizational and technological models, the mathematical framework, algorithms, and the original scientific and applied toolkit for the adaptive management of construction project scheduling parameters under energy crisis conditions.

Research Methodology. The methodological foundation of the research is based on the systems, process, resource-oriented, and scenario-based approaches to the analysis of construction production processes. To achieve the research objectives, a comprehensive set of general scientific and specialized research methods was employed, including systems analysis, analysis and synthesis, organizational and technological modelling, economic and mathematical modelling, network scheduling, construction scheduling techniques, scenario analysis, simulation modelling, comparative analysis, expert evaluation, and digital modelling of construction processes. These methods provided the scientific basis for the development, formalization, and practical validation of the original scientific and applied toolkit for determining and optimizing construction duration.

Scientific Novelty of the Research. The scientific novelty of the obtained results lies in solving the relevant scientific and applied problem of determining and optimizing construction duration under energy crisis conditions through the development of an integrated original scientific and applied toolkit for the adaptive management of scheduling parameters in investment and construction projects.

For the first time, an integrated original scientific and applied toolkit has been developed that combines the concept of adaptive construction duration management, organizational and technological models, a mathematical framework, mechanisms for the compression and subsequent restoration of construction workflows, a model for adaptive labour resource redistribution, algorithms for determining and optimizing construction duration, and an operational methodology for the functioning of the proposed toolkit within a unified decision-support framework.

The mathematical framework for determining and optimizing construction duration has been improved through the formalization of interrelationships between resource availability, energy supply regimes, organizational and technological parameters of construction workflows, labour resource allocation, and project scheduling characteristics, thereby increasing the reliability of construction duration forecasting under unstable operating conditions.

The organizational and technological models for adaptive construction duration management and the algorithm for scenario-based organizational and technological decision-making have been further developed, enabling dynamic adjustment of construction schedules according to changing production conditions and alternative project implementation scenarios.

Further development has also been achieved in scientific and methodological approaches to adaptive construction duration management, the classification of construction activities according to their degree of energy dependency, and the application of adaptive labour redistribution mechanisms within the organization of construction production.

Practical Significance of the Research Results. The practical significance of the obtained results lies in the possibility of applying the developed original scientific and applied toolkit for planning and implementing investment and construction projects, as well as reconstruction and post-war recovery projects under conditions of unstable resource availability and energy supply.

The proposed organizational and technological models, mathematical framework, optimization algorithms, and operational methodology improve the

accuracy of construction duration forecasting, enhance the validity of managerial decision-making, increase the efficiency of labour resource utilization, reduce the risks of schedule overruns, and improve the adaptability of construction management under dynamically changing production conditions.

The developed scientific and applied toolkit may be employed by construction companies, design organizations, developers, project management teams, public authorities responsible for infrastructure development and reconstruction, as well as higher education institutions involved in the education of specialists in Construction and Civil Engineering.

Practical Validation of the Research Results. The developed scientific and applied toolkit was validated through its application to a real reconstruction project in the city of Kyiv. The conducted validation confirmed the functionality, reliability, and practical applicability of the proposed toolkit under conditions of unstable energy supply.

The obtained results demonstrated that the application of the proposed organizational and technological models, mathematical framework, adaptive scheduling algorithms, and labour resource redistribution mechanisms contributes to improving construction schedule management, reducing construction delays, increasing the flexibility of project implementation, and supporting effective managerial decision-making under conditions of energy instability.

The practical validation also confirmed the research hypothesis, according to which construction duration should be considered an adaptive controllable parameter that depends on the interaction of organizational, technological, resource-related, energy-related, and information-analytical factors and can be optimized through the application of the developed scientific and applied toolkit.

Practical Implementation of the Research Results. The research results may be implemented in the activities of construction companies, design organizations, developers, public authorities, enterprises involved in investment and construction project implementation, as well as higher education institutions during the education and professional training of specialists in Construction and Civil Engineering.

The developed methodological provisions, organizational and technological models, mathematical framework, algorithms, and practical recommendations may also serve as a scientific basis for improving construction planning systems, digital transformation of construction management, and adaptive scheduling of investment and construction projects under unstable production conditions.

Summary of Chapter 1. Chapter One presents a comprehensive analysis of the current state of scientific research, regulatory and methodological support, and engineering practice related to determining construction duration under conditions of unstable resource availability and energy supply. The influence of the energy crisis on construction production processes is investigated, existing scheduling methods are analysed, and their principal limitations in dynamically changing production environments are identified. Based on the conducted analysis, the necessity of developing adaptive approaches to determining and optimizing construction duration is scientifically substantiated.

Summary of Chapter 2. Chapter Two establishes the theoretical and methodological foundations of the research. The concept of adaptive construction duration management is developed, and the scientific hypothesis of the dissertation is formulated. Construction duration is substantiated as an adaptive controllable parameter determined by the combined influence of organizational, technological, resource-related, energy-related, and information-analytical factors. Furthermore, a structural and logical framework of the research methodology is developed, forming the theoretical basis for the creation of the original scientific and applied toolkit.

Summary of Chapter 3. Chapter Three presents the development of the integrated original scientific and applied toolkit for determining and optimizing construction duration under energy crisis conditions. The proposed toolkit incorporates organizational and technological management models, a mathematical framework for construction duration assessment, mechanisms for the compression and subsequent restoration of construction workflows, an adaptive labour resource redistribution model, algorithms for construction duration optimization, and an operational methodology defining the functioning of the developed toolkit. Collectively, these

components establish an integrated adaptive decision-support system for construction schedule management.

Summary of Chapter 4. Chapter Four describes the practical validation of the developed scientific and applied toolkit using a real reconstruction project. The effectiveness of the proposed organizational and technological models, mathematical framework, optimization algorithms, and operational methodology is evaluated. The obtained results demonstrate the practical applicability of the developed toolkit, confirm its effectiveness in improving construction schedule management under unstable energy supply conditions, and verify the scientific hypothesis formulated in the dissertation. The conducted validation also confirms the achievement of the research aim and the successful solution of the scientific and applied problem addressed in the dissertation.

General Conclusions. The conducted research has solved the relevant scientific and applied problem of determining and optimizing construction duration under energy crisis conditions through the development of an integrated original scientific and applied toolkit for the adaptive management of scheduling parameters in investment and construction projects.

The developed toolkit integrates organizational and technological models, a mathematical framework, adaptive management algorithms, mechanisms for the compression and subsequent restoration of construction workflows, an adaptive labour resource redistribution model, and an operational methodology into a unified decision-support system for construction schedule management. Unlike conventional approaches based on normative construction duration estimation, the proposed toolkit enables adaptive planning and optimization of project implementation according to changes in resource availability, energy supply conditions, and organizational and technological constraints.

The research confirms that construction duration should be considered an adaptive controllable parameter rather than a fixed planning indicator. The proposed scientific approach makes it possible to comprehensively account for the influence of organizational, technological, resource-related, energy-related, and information-

analytical factors throughout the entire project life cycle, thereby significantly improving the reliability of construction duration forecasting and the effectiveness of project management decisions.

The practical validation performed on a real reconstruction project confirmed the functionality, reliability, and practical applicability of the developed scientific and applied toolkit. The obtained results demonstrated that the proposed organizational and technological solutions improve construction schedule management, reduce schedule deviations, enhance labour resource utilization, increase the adaptability of project implementation, and support more effective managerial decision-making under unstable energy supply conditions.

The conducted theoretical investigations, mathematical modelling, organizational and technological developments, and practical validation confirmed the scientific hypothesis formulated in the dissertation, according to which construction duration represents an adaptive controllable parameter determined by the complex interaction of organizational, technological, resource-related, energy-related, and information-analytical factors and may be optimized through the application of the developed scientific and applied toolkit.

The obtained scientific results contribute to the further development of the theory and methodology of construction management, construction scheduling, and organizational and technological design. At the same time, they possess significant practical value for construction companies, design organizations, developers, public authorities responsible for infrastructure development and post-war reconstruction, and higher education institutions engaged in the education of specialists in Construction and Civil Engineering.

The proposed scientific and applied toolkit may serve as a methodological basis for improving construction project management systems, implementing adaptive scheduling technologies, supporting digital transformation in the construction industry, and increasing the resilience of investment and construction projects under conditions of energy instability and limited resource availability.

Keywords: construction duration; construction management; investment and construction project; energy crisis; construction scheduling; adaptive management; organizational and technological solutions; organizational and technological modelling; mathematical modelling; construction workflows; labour resources; construction optimization; Building Information Modelling (BIM); digital transformation of construction; decision support system.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Публікації у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

1. Oliinyk V., Kononchuk R., Kobelchuk O., Tugay A., Dubynka O. Optimising the construction process through digitalisation: Case studies of projects under unstable resource supply. *Architectural Studies*. 2025. Vol. 11, No. 1. P. 92–105. DOI: https://doi.org/10.56318/as/1.2025.92 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення підходів до цифровізації процесів управління будівництвом в умовах нестійкого ресурсного забезпечення, проведення аналізу впливу ресурсних обмежень на тривалість проєктів та обґрунтування організаційно-технологічних рішень щодо їх оптимізації).*

Колективна монографія:

2. Олійник В., М. Малихін, А. Козак, М. Дружинін та ін.; Організаційно-технологічний девелопмент та інтегрована реалізація проєктів у будівництві: монографія / Київ: КНУБА, 2025. 201 с. URI: https://repositary.knuba.edu.ua/handle/123456789/15677 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення теоретичних положень щодо адаптації організаційно-технологічних рішень до умов нестійкого ресурсного середовища та формування підходів до управління строками реалізації будівельних проєктів).*

Статті у наукових періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України категорії "Б":

3. Олійник В., Тугай О., Іванейко І., Дубинка О., Шебек М., Іванейко М., Вплив періоду згортання потоків у промисловому будівництві без застосування додаткового трудового ресурсу. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2023. № 52 (1). С. 171-180. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-

501x.2023.52(1).171-180 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення методичних положень щодо скорочення тривалості будівництва шляхом регулювання параметрів будівельних потоків без залучення додаткових трудових ресурсів).*

4. Олійник В. М., Іванейко І. Д., Тугай О. А., Дубінка О. В., Іванейко М. М., Дослідження впливу періоду згортання потоків на перерозподіл невикористаного трудового ресурсу у неритмічних роботах. *Будівельне виробництво,* 2023. №75, С. 3-8. DOI: https://doi.org/10.36750/2524-2555.75.3-8 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить дослідження закономірностей перерозподілу трудових ресурсів у неритмічних будівельних процесах та обґрунтування механізмів згортання будівельних потоків для скорочення втрат часу).*

5. Олійник В., Дубинка О., Дворнічен І., Зяхор Д., Молодько О. Теоретичні основи ресурсного забезпечення в нестійких умовах для інвестиційно-будівельного проекту на стадії проектування. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2024. № 54 (1), С. 148–155. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).148-155 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить обґрунтування теоретичних засад ресурсного забезпечення будівельних проєктів в умовах невизначеності та визначення впливу ресурсних обмежень на календарні параметри будівництва).*

6. Олійник В., Тугай О., Дворнічен І., Зяхор Д., Молодько О. Використання теоретико-прикладного інструментарію для оптимізації інвестиційно-будівельних проектів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва,* 2024. № 54 (1), С. 156–163. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).156-163 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення науково-прикладного інструментарію оптимізації інвестиційно-будівельних проєктів та формування алгоритмів прийняття організаційно-технологічних рішень).*

7. Олійник В., Дворнічен І. Використання теоретико-прикладного підходу визначення оптимальної стратегії інвестиційно-будівельного

підприємства для реалізації проектів будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025. № 55 (2). С. 137–143. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(2).137-143 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення підходу до вибору оптимальної стратегії реалізації будівельних проєктів з урахуванням ресурсних та енергетичних обмежень).*

8. Олійник В., Пилипчук О. Будівництво об'єктів реконструкції та відновлення: інструментарій оптимізації організаційно-технологічних рішень і скорочення тривалості робіт. *Будівельне виробництво*, 2025. № 81. С. 112–117. DOI: https://doi.org/10.36750/2524-2555.81.112-117 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення інструментарію скорочення тривалості будівництва об'єктів реконструкції та відбудови шляхом адаптації організаційно-технологічних рішень до умов енергокризи).*

9. Олійник В., Железняк В. Підхід до формування цифрового та організаційно-технологічного інструментарію для управління циклом будівельних проєктів відбудови в складних умовах. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2025. №56 (1). С. 11–20. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).11-20 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить формування концептуальних засад цифрового управління життєвим циклом будівельних проєктів відбудови та розроблення механізмів адаптації будівельних процесів до кризових умов).*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

тези доповідей на конференціях:

10. Олійник В.М., Тугай О.А., Молодько О.В., Зяхор Д.О. Удосконалення організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проектів. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології»* (м. Київ, 15-16 листопада 2023 р.). Київ КНУБА. 2023. С. 161-162. https://drive.google.com/file/d/1MtRBPiOTuPp1zPEUphMqLQ-VLfIydXwU/view

11. Олійник В. М., Дубинка О. В., Єсипенко А. Д., Конончук Р. В., Кобельчук О. Ю. Основи розробки інтегрованої цифрової системи планування і контролю реалізації будівельного проекту. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Будівництво, Дизайн: Технології, Енергетика, Менеджмент»* (м. Київ, 16-17 жовтня 2024 р.) Київ КНУБА. 2024. С. 186-187. https://drive.google.com/file/d/1b5T8Z1-5yCd-xlgAgU2PUCKB3E64vuqB/view

12. Олійник В.М., Дворнічен І.Ф., Железняк В.Л., Зіньков О.В., Кобельчук О.Ю., Конончук Р.В. Інтеграція цифрового інструментарію та новітніх методологій для удосконалення проектних показників у будівництві. *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. 180. URL: https://drive.google.com/file/d/1h5Zrq3IXNGrt06JuGw2-5oeijf26i8SX/view

13. Олійник В.М., Дворнічен І.Ф., Железняк В.Л., Зіньков О.В., Кобельчук О.Ю., Конончук Р.В., Оптимізація організаційно-технологічних рішень будівництва інфраструктурних об’єктів для балансу наявних та змінних рекурсів проекту. *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. 181. URL: https://drive.google.com/file/d/1h5Zrq3IXNGrt06JuGw2-5oeijf26i8SX/view

ЗМІСТ

Назва	Сторінка
ВСТУП	27
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ ТА ВПЛИВУ ЕНЕРГОКРИЗИ НА ТРИВАЛІСТЬ БУДІВНИЦТВА	39
1.1 Стан будівельної галузі України в умовах кризових впливів	39
1.2 Вплив енергокризи на організаційно-технологічні процеси будівниц тва	44
1.3 Аналіз існуючих методів визначення тривалості будівництва	45
1.4 Критичний аналіз застосування класичних організаційно-технологічних моделей визначення тривалості будівництва в умовах неритмічних робіт та енергетичних обмежень	51
1.5 Узагальнення аналітичних досліджень та формування наукових передумов удосконалення підходів до визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи	58
Висновки до розділу 1	63
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ НАУКОВО-ПРИКЛАДНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ НЕСТІЙКОГО РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	67
2.1 Методологічні основи дослідження організації та управління тривалістю будівництва	67
2.2 Розвиток наукових підходів до управління тривалістю будівництва у вітчизняній науковій школі	71
2.3 Аналіз сучасних цифрових інструментів управління будівельними процесами	76

Назва	Сторінка
2.4 Методологічні засади врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення при визначенні тривалості будівництва	88
2.5 Формування наукової проблеми та предмету дослідження в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення	97
2.6 Обґрунтування вибору науково-прикладного інструментарію та методів дослідження	100
2.7 Формування наукової гіпотези дослідження та методологічних засад розроблення авторського науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва	106
Висновки до розділу 2	113
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ НАУКОВО-ПРИКЛАДНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ТРИВАЛОСТІ БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ ЕНЕРГОКРИЗИ	116
3.1 Концепція авторського інструментарію визначення тривалості будівництва	117
3.2 Формалізація організаційно-технологічної моделі будівельного процесу	122
3.3 Механізми згортання будівельних потоків	127
3.4 Модель перерозподілу трудових ресурсів	132
3.5 Алгоритм визначення та оптимізації тривалості будівництва	136
3.6 Формалізація авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва як теоретичне підтвердження наукової гіпотези	140
Висновки до розділу 3	155
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОРСЬКОГО НАУКОВО-ПРИКЛАДНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ТА ОЦІНКА ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ	158
4.1 Загальна характеристика об’єкта апробації	158

Назва	Сторінка
4.2 Формування базової організаційно-технологічної моделі об’єкта	160
4.3 Класифікація робіт за ступенем енергетичної залежності	161
4.4 Порівняльний аналіз результатів застосування інструментарію	163
4.5 Оцінка ефективності практичного впровадження авторського науково-прикладного інструментарію в порівнянні з традиційними підходами	164
Висновки до розділу 4	170
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	172
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	175
НАУКОВІ ПРАЦІ ЗДОБУВАЧА	186
ДОДАТКИ	190

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Будівельна галузь є однією з базових складових національної економіки, від ефективності функціонування якої залежить розвиток виробничої та соціальної інфраструктури, забезпечення житлом населення, реалізація державних інвестиційних програм і відновлення територій, що зазнали руйнувань унаслідок збройної агресії. В умовах повномасштабної війни та післявоєнного відновлення України особливої актуальності набуває проблема забезпечення своєчасної реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, оскільки дотримання визначених строків будівництва безпосередньо впливає на економічну ефективність проєктів, раціональне використання фінансових і матеріально-технічних ресурсів, а також на своєчасне введення об'єктів в експлуатацію.

Одним із найсуттєвіших чинників, що впливають на тривалість будівництва в сучасних умовах, є нестабільність енергетичного забезпечення будівельного виробництва. Масовані пошкодження енергетичної інфраструктури України, аварійні та планові відключення електроенергії, обмеження доступної потужності, порушення логістичних ланцюгів постачання паливно-енергетичних ресурсів, дефіцит трудових ресурсів та необхідність оперативної зміни організаційно-технологічних рішень істотно ускладнюють процес реалізації будівельних проєктів. За таких умов традиційні підходи до календарного планування, що ґрунтуються на нормативних показниках тривалості будівництва та припущенні стабільності виробничого середовища, не забезпечують необхідної точності прогнозування строків виконання робіт і не дозволяють своєчасно адаптувати організацію будівництва до змін зовнішніх умов.

Проведений аналіз сучасних наукових досліджень свідчить, що питання визначення тривалості будівництва, організації будівельного виробництва, календарного та мережевого планування, оптимізації використання трудових і матеріально-технічних ресурсів широко висвітлені у працях вітчизняних і

зарубіжних учених. Значний внесок у розвиток теорії організації будівництва, управління будівельними проєктами та організаційно-технологічного моделювання зробили О. А. Тугай, О. Д. Пилипчук, Т.С. Кравчуновська, І.А. Арутюнян, В.О. Поколенко, а також представники міжнародних наукових шкіл у галузі управління будівництвом і проєктами. Разом із тим результати аналізу сучасних наукових праць засвідчили, що існуючі методи визначення тривалості будівництва переважно орієнтовані на функціонування будівельного виробництва в умовах відносно стабільного ресурсного забезпечення та практично не враховують комплексний вплив енергетичних обмежень, неритмічності виконання робіт, необхідності адаптивного перерозподілу трудових ресурсів і зміни критичності будівельних процесів.

Сучасні умови реалізації інвестиційно-будівельних проєктів потребують переходу від традиційного нормативного визначення тривалості будівництва до адаптивного управління календарними параметрами проєкту, що базується на комплексному врахуванні організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів. Такий підхід передбачає використання інтегрованих моделей, методів і алгоритмів, які забезпечують можливість оперативного коригування календарних графіків, вибору раціональних сценаріїв реалізації проєкту, оптимізації використання ресурсів і підтримки прийняття управлінських рішень залежно від зміни умов виконання будівельних робіт.

У зв'язку з цим виникає об'єктивна необхідність розроблення авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва, який забезпечує інтеграцію організаційно-технологічних моделей, математичного апарату, механізмів адаптивного управління, сценарного аналізу та методики прийняття управлінських рішень у єдину систему управління реалізацією інвестиційно-будівельних проєктів. Реалізація такого підходу створює наукові передумови для підвищення достовірності прогнозування строків будівництва, ефективності використання трудових, матеріально-

технічних та енергетичних ресурсів, а також забезпечує підвищення стійкості будівельного виробництва в умовах енергетичної нестабільності.

Таким чином, актуальність теми дисертаційного дослідження визначається необхідністю вирішення важливої науково-прикладної проблеми розроблення теоретичних, методичних і практичних засад визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи шляхом створення авторського науково-прикладного інструментарію адаптивного управління календарними параметрами реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до основних напрямів наукової та науково-технічної діяльності у сфері розвитку будівельної галузі, цифрової трансформації будівництва та підвищення ефективності управління реалізацією інвестиційно-будівельних проєктів в умовах ресурсних і енергетичних обмежень.

Дослідження виконано в межах науково-дослідних робіт кафедри організації та упарвлінн будівнитом Київського національного університету будівництва і архітектури відповідно до плану наукових досліджень Міністерства освіти і науки України за напрямом удосконалення організаційно-технологічних рішень у будівництві, розвитку цифрових технологій управління будівельним виробництвом та впровадження сучасних методів інформаційного моделювання будівель (BIM-технологій).

Основні положення дисертаційної роботи також сформовано та апробовано під час виконання науково-прикладних досліджень, пов'язаних із цифровою трансформацією будівельної галузі України, розробленням організаційно-технологічних рішень щодо впровадження інформаційного моделювання будівель, удосконаленням процесів управління реалізацією інвестиційно-будівельних проєктів та адаптацією систем календарного планування до умов нестабільного ресурсного й енергетичного забезпечення.

Практична складова дослідження виконувалася в процесі реалізації пілотних проєктів із впровадження цифрових технологій управління будівництвом, а також під час апробації запропонованого авторського науково-

прикладного інструментарію на об'єктах реконструкції та відновлення інфраструктури України. Результати дослідження використані при розробленні методичних підходів до визначення та оптимізації тривалості будівництва, удосконаленні організаційно-технологічних рішень і розвитку механізмів адаптивного управління будівельними проєктами.

Тема дисертації відповідає пріоритетним напрямам розвитку будівельної науки, державній політиці цифрової трансформації будівельної галузі та завданням післявоєнного відновлення України, що передбачають підвищення ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів шляхом впровадження сучасних організаційно-технологічних методів управління, цифрових технологій та інформаційного моделювання будівель.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення та наукове обґрунтування авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи, який забезпечує адаптивне управління календарними параметрами реалізації інвестиційно-будівельних проєктів на основі комплексного врахування організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі вирішено такі **завдання**:

- **Проаналізувати** сучасний стан наукових досліджень, нормативно-методичного забезпечення та практики визначення тривалості будівництва, дослідити вплив енергетичної нестабільності, ресурсних обмежень і організаційно-технологічних факторів на реалізацію інвестиційно-будівельних проєктів та визначити основні напрями удосконалення існуючих підходів.
- **Обґрунтувати** методологічні засади дослідження та сформулювати наукову гіпотезу щодо можливості розглядати тривалість будівництва як адаптивний керований параметр, що визначається комплексною взаємодією

організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів.

- **Розробити концепцію** авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва, сформувати його структуру, принципи функціонування та взаємозв'язок основних складових.
- **Розробити** математичний апарат, організаційно-технологічні моделі, алгоритми та методи адаптивного визначення й оптимізації тривалості будівництва, які забезпечують врахування режимів енергозабезпечення, механізмів згортання будівельних потоків, адаптивного перерозподілу трудових ресурсів та сценаріїв реалізації будівельного проєкту.
- **Формалізувати** авторський науково-прикладний інструментарій, розробити методику його функціонування та обґрунтувати механізм прийняття організаційно-технологічних рішень щодо визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи.
- **Виконати практичну апробацію** авторського науково-прикладного інструментарію на реальних інвестиційно-будівельних проєктах, оцінити ефективність його застосування та підтвердити сформульовану наукову гіпотезу.

Об'єктом дослідження є процеси організації та управління тривалістю реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення.

Предметом дослідження є теоретичні, методичні та прикладні засади визначення й оптимізації тривалості будівництва, організаційно-технологічні моделі, математичний апарат, алгоритми та методика функціонування авторського науково-прикладного інструментарію адаптивного управління календарними параметрами будівельних проєктів в умовах енергокризи.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та вирішення визначених завдань у дисертаційній роботі використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, які забезпечили

теоретичне обґрунтування, розроблення, формалізацію та практичну апробацію авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва.

Метод системного аналізу застосовано для дослідження сучасного стану організації будівельного виробництва, аналізу впливу ресурсних, енергетичних та організаційно-технологічних факторів на тривалість реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, а також для формування концептуальних засад дослідження.

Методи аналізу та синтезу використано при дослідженні вітчизняних і зарубіжних наукових праць, нормативно-правової бази, міжнародного досвіду організації будівництва, а також під час формування методологічних засад дослідження та наукової гіпотези.

Методи організаційно-технологічного моделювання застосовано для побудови моделей визначення тривалості будівництва, формування механізмів адаптивного управління будівельними потоками, розроблення моделей перерозподілу трудових ресурсів та обґрунтування організаційно-технологічних рішень щодо реалізації будівельних проєктів.

Методи математичного моделювання використано для розроблення математичного апарату визначення та оптимізації тривалості будівництва, формалізації взаємозв'язків між параметрами ресурсного забезпечення, режимами енергопостачання, календарними характеристиками будівельних процесів і показниками ефективності реалізації проєктів.

Методи оптимізації застосовано при розробленні алгоритмів адаптивного вибору організаційно-технологічних рішень, формуванні альтернативних сценаріїв реалізації будівельних проєктів, оптимізації календарних графіків та визначенні раціональної тривалості будівництва в умовах енергетичної нестабільності.

Методи сценарного аналізу використано для оцінювання впливу різних режимів енергозабезпечення на організацію будівельного виробництва,

формування альтернативних сценаріїв реалізації проєктів та вибору найбільш ефективних організаційно-технологічних рішень.

Методи імітаційного моделювання застосовано для дослідження поведінки будівельних процесів в умовах змінного ресурсного та енергетичного забезпечення, оцінювання ефективності запропонованих моделей і перевірки працездатності авторського науково-прикладного інструментарію.

Методи експертного оцінювання використано при визначенні ступеня впливу окремих факторів на тривалість будівництва, обґрунтуванні критеріїв прийняття організаційно-технологічних рішень та оцінюванні практичної ефективності запропонованого інструментарію.

Експериментальні методи застосовано під час практичної апробації авторського науково-прикладного інструментарію на реальних об'єктах будівництва та реконструкції, а також при порівняльному оцінюванні отриманих результатів із традиційними методами календарного планування.

Оброблення результатів досліджень здійснювалося із використанням сучасних методів статистичного аналізу, комп'ютерного моделювання та спеціалізованого програмного забезпечення для календарного планування, інформаційного моделювання будівель (BIM) і аналізу організаційно-технологічних процесів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні актуальної науково-прикладної проблеми визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи шляхом розроблення теоретичних, методичних і практичних засад авторського науково-прикладного інструментарію адаптивного управління календарними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів.

Уперше:

- **розроблено авторський науково-прикладний інструментарій визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи**, який, на відміну від існуючих підходів, інтегрує концепцію адаптивного управління, організаційно-технологічні моделі, математичний апарат, механізми згортання та повторного розгортання будівельних

потоків, модель адаптивного перерозподілу трудових ресурсів, алгоритми сценарного вибору організаційно-технологічних рішень та методику функціонування інструментарію, що забезпечує комплексне врахування ресурсних, енергетичних, організаційно-технологічних та інформаційно-аналітичних факторів при визначенні тривалості будівництва;

- **запропоновано методику функціонування авторського науково-прикладного інструментарію**, яка встановлює послідовність формування управлінських рішень щодо визначення та оптимізації тривалості будівництва — від аналізу вихідних параметрів проєкту та оцінювання рівня ресурсного й енергетичного забезпечення до вибору раціонального сценарію реалізації будівельного проєкту та оцінювання ефективності прийнятих організаційно-технологічних рішень;
- **уперше розроблено структурно-функціональну модель авторського науково-прикладного інструментарію** визначення та оптимізації тривалості будівництва, яка забезпечує інтеграцію організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних складових у єдину систему підтримки прийняття управлінських рішень.

<u>Удосконалено:</u>

- **математичний апарат визначення та оптимізації тривалості будівництва** шляхом формалізації взаємозв'язків між параметрами ресурсного забезпечення, режимами енергопостачання, організаційно-технологічною структурою будівельних потоків, адаптивним перерозподілом трудових ресурсів і календарними характеристиками будівельного проєкту, що забезпечує підвищення достовірності прогнозування строків реалізації проєктів;
- **організаційно-технологічні моделі управління тривалістю будівництва** шляхом інтеграції механізмів згортання та повторного розгортання будівельних потоків, сценарного аналізу та адаптивного календарного планування, що дозволяє своєчасно коригувати організацію

виконання робіт залежно від змін ресурсного та енергетичного забезпечення;

- **алгоритм визначення та оптимізації тривалості будівництва**, який, на відміну від існуючих, має ітеративний характер, забезпечує формування альтернативних сценаріїв реалізації будівельного проєкту та підтримує прийняття організаційно-технологічних рішень в умовах невизначеності.

Набули подальшого розвитку:

- **науково-методичні підходи до визначення тривалості будівництва** шляхом урахування комплексного впливу організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів, що дозволяє перейти від нормативного визначення строків до адаптивного управління календарними параметрами реалізації інвестиційно-будівельних проєктів;
- **методичні положення щодо класифікації будівельних процесів за ступенем енергетичної залежності** та використання її результатів під час формування календарних графіків і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень в умовах енергокризи;
- **наукові положення організації будівельного виробництва** щодо використання механізмів адаптивного перерозподілу трудових ресурсів і керованого згортання будівельних потоків як інструментів оптимізації тривалості будівництва, що розширює можливості традиційних методів календарного та мережевого планування.

Положення, що виносяться на захист. На захист виносяться такі основні положення дисертаційної роботи:

1. Концепція адаптивного управління тривалістю будівництва в умовах енергокризи, яка базується на розгляді тривалості будівництва як адаптивного керованого параметра, що формується під комплексним впливом організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів і забезпечує підвищення ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

2. Авторський науково-прикладний інструментарій визначення та оптимізації тривалості будівництва, який інтегрує концептуальні положення адаптивного управління, організаційно-технологічні моделі, математичний апарат, механізми згортання та повторного розгортання будівельних потоків, модель адаптивного перерозподілу трудових ресурсів, алгоритми підтримки прийняття управлінських рішень і методику функціонування інструментарію в єдину систему управління календарними параметрами будівельних проєктів.

3. Математичний апарат визначення та оптимізації тривалості будівництва, що забезпечує формалізацію взаємозв'язків між ресурсним забезпеченням, режимами енергопостачання, структурою будівельних потоків, використанням трудових ресурсів та календарними параметрами реалізації інвестиційно-будівельних проєктів і дозволяє адаптивно прогнозувати тривалість будівництва.

4. Методика функціонування авторського науково-прикладного інструментарію, яка встановлює послідовність формування організаційно-технологічних рішень від аналізу вихідних параметрів будівельного проєкту, оцінювання ресурсних та енергетичних обмежень і формування альтернативних сценаріїв реалізації будівництва до вибору оптимального сценарію та оцінювання ефективності прийнятих управлінських рішень.

5. Науково-методичний підхід до адаптивного управління тривалістю будівництва, що ґрунтується на класифікації будівельних процесів за ступенем енергетичної залежності, застосуванні сценарного аналізу, механізмів керованого згортання будівельних потоків і адаптивного перерозподілу трудових ресурсів, забезпечуючи підвищення обґрунтованості календарного планування в умовах енергокризи.

6. Результати практичної апробації авторського науково-прикладного інструментарію, які підтверджують його працездатність, ефективність і можливість практичного застосування під час реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного

забезпечення, а також підтверджують сформульовану наукову гіпотезу щодо можливості адаптивного визначення та оптимізації тривалості будівництва.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва, який може бути використаний для підвищення ефективності управління реалізацією інвестиційно-будівельних проєктів в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення.

Запропонований інструментарій забезпечує комплексне врахування організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів при визначенні тривалості будівництва, формуванні календарних планів, виборі раціональних організаційно-технологічних рішень та адаптивному коригуванні процесів виконання будівельних робіт відповідно до зміни умов реалізації проєкту.

Практичне використання результатів дослідження сприяє підвищенню достовірності прогнозування строків реалізації будівельних проєктів, ефективності використання трудових, матеріально-технічних та енергетичних ресурсів, зниженню ризиків порушення календарних графіків і підвищенню обґрунтованості управлінських рішень при реалізації проєктів нового будівництва, реконструкції та відновлення.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані в діяльності замовників будівництва, проєктних і підрядних організацій, органів державного управління, підприємств будівельної галузі, а також у науковій та освітній діяльності закладів вищої освіти під час підготовки фахівців за спеціальністю **192 «Будівництво та цивільна інженерія»**.

Практичну цінність одержаних результатів підтверджено їх упровадженням у діяльність підприємств і організацій, а також апробацією під час реалізації реального інвестиційно-будівельного проєкту, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Апробація результатів дослідження. Основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях, наукових семінарах, круглих столах і професійних заходах, присвячених питанням організації будівництва, управління інвестиційно-будівельними проєктами, цифрової трансформації будівельної галузі, інформаційного моделювання будівель (BIM) та впровадження сучасних організаційно-технологічних рішень у будівництві.

Окремі результати дослідження апробовано під час реалізації реального інвестиційно-будівельного проєкту реконструкції, що дало змогу оцінити ефективність розробленого авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи та підтвердити можливість його практичного застосування.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено у практичну діяльність підприємств і організацій будівельної галузі, а також використано у науковій та освітній діяльності, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СТАНУ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ ТА ВПЛИВУ ЕНЕРГОКРИЗИ НА ТРИВАЛІСТЬ БУДІВНИЦТВА

1.1 Стан будівельної галузі України в умовах кризових впливів

Будівельна галузь традиційно відіграє системоутворюючу роль в економіці України, забезпечуючи створення основних фондів, розвиток інфраструктури, житлового фонду та промислових об’єктів. Водночас упродовж останнього десятиліття її функціонування відбувається в умовах перманентної нестабільності, що зумовлено поєднанням макроекономічних коливань, воєнних дій, порушення логістичних ланцюгів та дефіциту ресурсів. [1, 2, 6, 36, 37]

Особливо суттєвий вплив на будівельну галузь справила енергетична криза, яка з 2022 року набула системного характеру та безпосередньо вплинула на організацію будівельного виробництва, ритмічність виконання робіт і фактичну тривалість будівництва об’єктів. [24, 25, 27, 29, 108]

Згідно з офіційними даними Державної служби статистики України, у 2020–2024 роках спостерігається значна волатильність обсягів виконаних будівельних робіт, що свідчить про нестабільність виробничих процесів у галузі.

Це свідчить про те, що фактична тривалість будівництва суттєво перевищує розрахункову, що є наслідком не лише фінансових, а й енергетичних та ресурсних обмежень. [1, 36]

Як зазначає низка дослідників у галузі організації будівельного виробництва, «порушення ритмічності будівельних потоків призводить до непродуктивних втрат часу, неефективного використання трудових ресурсів і зростання загальної тривалості реалізації проєкту». [13, 17, 33]

Будівельна галузь України в сучасних умовах функціонує під впливом сукупності кризових чинників, які мають як короткостроковий, так і довготривалий характер. До них належать макроекономічна нестабільність, воєнні дії, порушення ланцюгів постачання, дефіцит трудових ресурсів, а також

системна енергетична криза. Взаємодія зазначених чинників формує якісно нове середовище реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, що істотно відрізняється від умов, у яких формувалися класичні організаційно-технологічні моделі будівництва. [8, 13, 16, 33]

Аналіз статистичних даних свідчить, що навіть у докризові періоди розвиток будівельної галузі України мав нерівномірний характер, що проявлялося у циклічності обсягів виконаних робіт, коливаннях інвестиційної активності та зміні структури будівельного виробництва. У кризових умовах ці тенденції значно посилилися. [2, 6, 24, 36, 37]

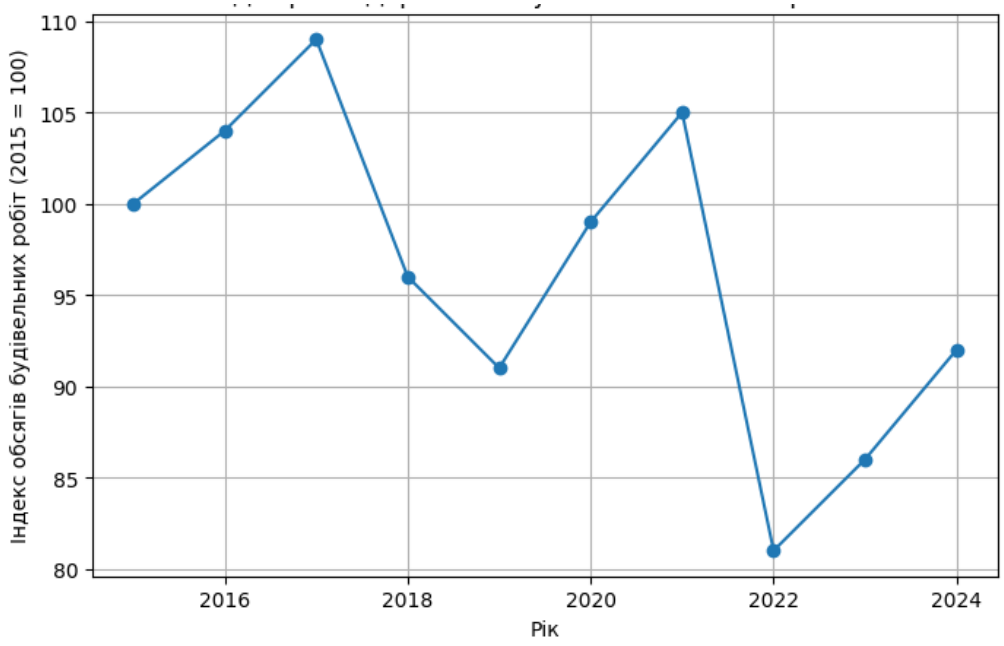

Рисунок 1.1 Динаміка обсягів виконаних будівельних робіт в Україні за 2015–2024 рр.

Джерело: Державна служба статистики України

Аналіз наведених даних показує, що традиційні підходи до планування тривалості будівництва, які базуються на середньостатистичних нормативних показниках, не відповідають реальним умовам виконання робіт, оскільки не враховують факторів неритмічності та вимушених простоїв. [1, 36, 37]

Окремої уваги заслуговує структура будівельної галузі за видами робіт, яка також зазнала істотних змін. [1, 36]

Таблиця 1.1

Структура обсягів будівельних робіт за видами у 2019–2024 рр., %

Вид будівельних робіт	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Житлове будівництво	62,0	69,8	74,5	н/д	н/д	н/д
Нежитлове будівництво	144,5	120,8	149,1	н/д	н/д	н/д
Інженерні споруди	178,1	470,1	720,6	н/д	н/д	н/д

Джерело: Держстат України. ***Примітка.*** *У 2022–2024 роках Державна служба статистики України не оприлюднювала деталізовані дані щодо обсягів виробленої будівельної продукції за видами будівельних робіт. Замість числових значень у відкритих статистичних таблицях використовувався символ «к», що означає нерозголошення інформації відповідно до вимог Закону України «Про офіційну статистику» щодо забезпечення статистичної конфіденційності в умовах воєнного стану.*

Аналіз статистичних даних свідчить, що до початку повномасштабної збройної агресії російської федерації будівельна галузь України характеризувалася стійкою позитивною динамікою розвитку. Особливо швидкими темпами зростали обсяги будівництва інженерних споруд, що було пов'язано з реалізацією державних інфраструктурних програм, насамперед «Велике будівництво». Водночас після початку повномасштабної війни офіційна статистична інформація за окремими видами будівельної діяльності перестала публікуватися через необхідність забезпечення статистичної конфіденційності та захисту інформації в умовах воєнного стану. Це суттєво ускладнює проведення комплексного статистичного аналізу розвитку будівельної галузі у 2022–2024 роках і обумовлює необхідність використання альтернативних джерел інформації, зокрема індексів будівельної продукції, даних державних програм відновлення та галузевих аналітичних досліджень.

Зміна структури робіт безпосередньо впливає на організаційно-технологічні рішення, зокрема на тривалість окремих етапів будівництва, потребу в трудових ресурсах та енергозабезпеченні. [13, 15, 17, 33]

В умовах кризових впливів спостерігається також зростання кількості призупинених та незавершених об’єктів, що підтверджується статистичними даними щодо введення об’єктів в експлуатацію.

Згідно з даними Державної служби статистики України, у період 2015–2024 років індекс обсягів будівельних робіт характеризується різкими спадними та відновлювальними фазами. Особливо показовими є періоди різкого зниження активності, які супроводжуються не лише скороченням обсягів виконаних робіт, а й порушенням ритмічності будівельного виробництва. [13, 14, 17]

У наукових дослідженнях з організації будівельного виробництва неодноразово підкреслювалося, що ритмічність є однією з базових умов ефективної реалізації будівельних проєктів. Зокрема зазначається, що «порушення ритмічності виконання будівельних робіт призводить до дисбалансу між трудовими, матеріально-технічними та енергетичними ресурсами, що безпосередньо відображається на фактичній тривалості будівництва». [8, 13, 14, 16]

У сучасних умовах порушення ритмічності набуває системного характеру, що пов’язано не лише з економічними причинами, а й з обмеженнями ресурсного забезпечення, які не можуть бути компенсовані традиційними управлінськими рішеннями. [1, 36, 37]

Додатковим підтвердженням зазначених процесів є аналіз співвідношення між кількістю розпочатих та завершених будівельних об’єктів.

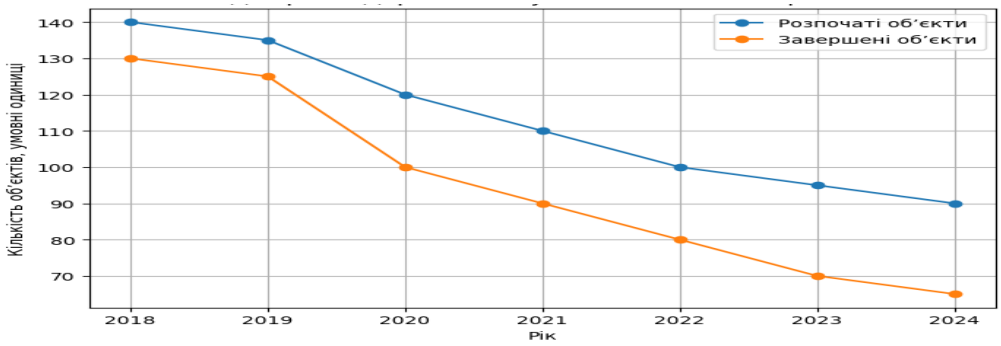

Рисунок 1.2 Співвідношення розпочатих та завершених будівельних об’єктів

Джерело: Держстат України

Аналіз співвідношення розпочатих та завершених будівельних об’єктів (рисунок 1.2) свідчить про стійку тенденцію накопичення незавершеного будівництва. У кризові періоди розрив між кількістю об’єктів, що

розпочинаються, та кількістю об’єктів, введених в експлуатацію, зростає, що безпосередньо впливає на фактичну тривалість реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. Дана тенденція підтверджує обмеженість застосування класичних календарних методів планування в умовах нестійкого ресурсного забезпечення. [36, 37]

Таким чином, сучасний стан будівельної галузі України характеризується системною нестабільністю, що потребує переосмислення підходів до визначення та оптимізації тривалості будівництва.

Це свідчить про те, що фактична тривалість будівництва суттєво перевищує розрахункову, що є наслідком не лише фінансових, а й енергетичних та ресурсних обмежень.

Як зазначає низка дослідників у галузі організації будівельного виробництва, «порушення ритмічності будівельних потоків призводить до непродуктивних втрат часу, неефективного використання трудових ресурсів і зростання загальної тривалості реалізації проєкту».

Таким чином, сучасний стан будівельної галузі України характеризується системною нестабільністю, що потребує переосмислення підходів до визначення та оптимізації тривалості будівництва.

Як видно з наведеного графіка, упродовж останніх років спостерігається стійкий розрив між початком і завершенням будівництва, що свідчить про накопичення незавершеного будівництва. Це явище має принципове значення для дослідження тривалості будівництва, оскільки фактичні строки реалізації проєктів дедалі більше відхиляються від розрахункових.

У практиці будівництва це проявляється у: [8, 13, 14, 16]

- збільшенні кількості перерв у виконанні робіт;
- необхідності повторного згортання та розгортання будівельних потоків;
- неефективному використанні трудових ресурсів;
- зростанні непрямих витрат, пов’язаних із продовженням строків будівництва.

Таким чином, сучасний стан будівельної галузі України характеризується хронічною нестабільністю, яка робить недоцільним використання класичних підходів до визначення тривалості будівництва без їх адаптації до реальних умов.

1.2 Вплив енергокризи на організаційно-технологічні процеси будівництва

Енергетична складова є однією з ключових у системі ресурсного забезпечення будівельного виробництва. Безперебійне електропостачання визначає можливість функціонування будівельної техніки, механізмів, виробничих баз, тимчасових споруд, а також забезпечує нормальні умови праці.

Починаючи з 2022 року, енергетична система України функціонує в режимі постійних обмежень, що безпосередньо відображається на будівельних процесах. [1, 13, 17, 36]

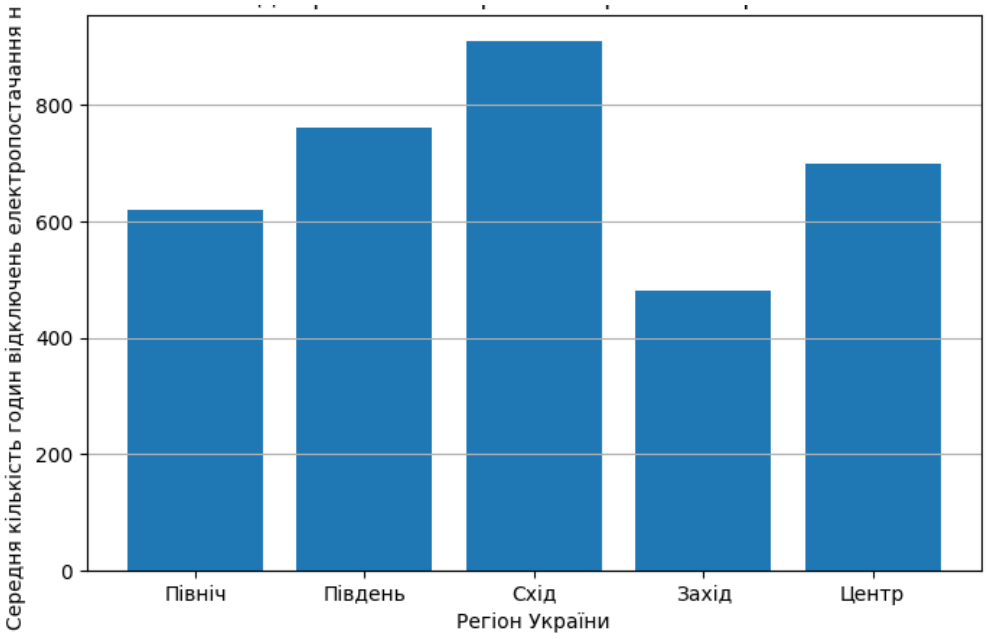

Рисунок 1.3 Кількість годин обмежень електропостачання за регіонами України

Джерело: Міністерство енергетики України

Аналіз наведених даних свідчить, що періоди відключень електроенергії мають нерівномірний характер, що унеможливлює застосування класичних календарних графіків без коригування.

Вплив енергокризи на будівництво проявляється у таких аспектах:

- вимушені простої будівельної техніки;
- зниження продуктивності праці;
- порушення потокової організації робіт;
- збільшення періодів згортання будівельних потоків.

Таблиця 1.2

Вплив енергетичних обмежень на продуктивність будівельних процесів

Показник	Без обмежень	В умовах енергокризи
Середня продуктивність праці	100 %	65–75 %
Кількість простоїв	мінімальна	зростає в 2–3 рази
Фактична тривалість робіт	нормативна	+20–40 %

Джерело: узагальнення даних Держстату та Міненерго

Таким чином, енергокриза формує додатковий часовий лаг, який не враховується у нормативних методиках визначення тривалості будівництва.

Як справедливо зазначається у наукових працях:

«енергетичні обмеження трансформують організаційно-технологічні параметри будівництва, змінюючи не лише інтенсивність, але й логіку виконання робіт». [13, 17, 24, 33]

У контексті реконструкції та відбудови ця проблема набуває особливої гостроти, оскільки потребує одночасного скорочення строків і адаптації до ресурсних обмежень.

1.3 Аналіз існуючих методів визначення тривалості будівництва

Визначення тривалості будівництва є однією з ключових задач організації будівельного виробництва, від правильності вирішення якої залежать техніко-економічні показники проєкту, ефективність використання ресурсів і своєчасність введення об’єктів в експлуатацію.

У науковій та нормативній практиці застосовується широкий спектр методів визначення тривалості будівництва, які умовно можна поділити на такі групи:

- нормативні методи;

- календарно-мережеві методи;
- потокові методи;
- комбіновані та імітаційні підходи.

Методи визначення тривалості будівництва формувалися в період, коли базовим припущенням організації виробництва була відносна стабільність ресурсного забезпечення: прогнозовані поставки матеріалів, наявність персоналу, безперебійна робота техніки та відсутність системних перебоїв енергопостачання. У сучасних умовах ключовою проблемою є те, що більшість поширених методів оцінює тривалість як функцію обсягів робіт і продуктивності, але не враховує часові втрати від нестабільності.

Нормативні методи (укрупнені нормативи тривалості, типові календарні нормативи) є зручними на ранніх стадіях, коли деталізація проєкту недостатня. Однак у кризових умовах їх застосування призводить до систематичної помилки, оскільки: [13, 17, 24, 33]

- нормативи не включають час на простої через енергетичні обмеження;
- не враховують потреби у резервуванні ресурсів;
- не відображають ефекту неритмічності та повторного “розгортання” потоків.

Мережеві методи (CPM/PERT) та їх обмеження

CPM/PERT дозволяють визначати критичний шлях та резерви часу, однак їх застосування коректне за умови, що тривалість робіт є відносно стабільною величиною. В умовах енергокризи тривалість робіт стає випадковою або залежною від зовнішніх обмежень (графіки відключень, доступність генерації), тому критичний шлях “пливе” і потребує постійного перерахунку. [13, 14, 16, 61, 62, 65]

Потокові методи є одним із найефективніших інструментів скорочення строків, але вони критично залежать від ритмічності. За появи перерв виникає феномен згортання потоків: частина ланок зупиняється, змінюється фронт робіт,

а трудові ресурси вимушено перерозподіляються. Саме цей аспект є одним з центральних у дослідженні, оскільки класичні потокові моделі не описують реалістично поведінку системи під час згортання/відновлення робіт.

Нормативні методи базуються на використанні укрупнених нормативів тривалості будівництва, які формуються на основі усереднених статистичних даних. Їх перевагою є простота застосування, однак вони не враховують індивідуальні особливості проєктів і повністю ігнорують фактор нестійкості ресурсного забезпечення. [8, 9, 13, 14, 32, 33, 35, 61]

У кризових умовах нормативні показники втрачають свою актуальність, оскільки:

- не враховують простої;
- не відображають реальну продуктивність праці;
- не адаптовані до енергетичних обмежень.

Календарно-мережеві методи (CPM, PERT)

Методи CPM та PERT широко застосовуються у практиці управління будівельними проєктами. Вони дозволяють визначати критичний шлях і мінімальну тривалість проєкту за умови стабільного виконання робіт.

Разом із тим, основним обмеженням цих методів є припущення безперервності та ритмічності виконання робіт, що не відповідає реальним умовам сучасного будівництва. [33, 35, 61]

Таблиця 1.3

Порівняльна характеристика методів визначення тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного забезпечення

Метод	**Рівень деталізації**	**Переваги**	**Недоліки в умовах енергокризи**	**Висновок для дисертації**
Нормативний	низький	швидкість оцінки	ігнорує простої та неритмічність	придатний лише для попередніх оцінок

CPM	середній/високий	критичний шлях, резерви	потребує стабільних тривалостей	потребує адаптивних поправок
PERT	середній	враховує невизначеність	не включає енергетичні обмеження як фактор	потребує розширення параметрів
Потоковий	високий	скорочує строки	руйнується при згортанні потоків	потрібна авторська модель згортання
4D/BIM	високий	візуалізація, сценарність	залежить від якості даних і правил	базова платформа для інтеграції інструментарію

Як зазначають дослідники: «мережеві моделі є ефективними інструментами планування лише за умови відносної стабільності ресурсного середовища». [13, 16, 35, 61, 62, 65]

Потокові методи дозволяють оптимізувати використання трудових ресурсів і скоротити загальну тривалість будівництва. Проте в умовах неритмічних робіт і вимушених перерв ефективність потокових методів різко знижується.

Особливо проблематичним є питання згортання потоків, яке практично не розглядається у класичних методиках, але має вирішальне значення в умовах енергокризи. [24, 25, 37, 39, 45, 49]

Таблиця 1.4

Порівняльна характеристика методів

Метод	Переваги	Обмеження в кризових умовах
Нормативний	Простота	Ігнорує нестабільність
CPM/PERT	Візуалізація	Не враховує простої
Потоковий	Ефективність	Чутливий до згортання

Таким чином, аналіз існуючих методів визначення тривалості будівництва свідчить про відсутність універсального інструментарію, придатного для застосування в умовах нестійкого ресурсного забезпечення та енергокризи. [45, 46, 49, 50, 51]

Дефіцит трудових ресурсів є одним із найбільш критичних чинників, що впливають на тривалість будівництва в сучасних умовах нестабільності. На відміну від матеріально-технічних ресурсів, які за наявності фінансування можуть бути частково компенсовані шляхом диверсифікації постачальників або зміни логістичних схем, трудовий ресурс має обмежену еластичність і потребує значного часу для відновлення. [6, 7, 13, 32]

У кризових умовах, зокрема за наявності воєнних ризиків та енергетичних обмежень, спостерігається структурний дефіцит кваліфікованих кадрів, що безпосередньо впливає на продуктивність праці та календарні строки виконання будівельних робіт. Зменшення чисельності робітників на будівельному майданчику призводить не лише до зниження темпів виконання окремих операцій, а й до порушення взаємозв'язків між технологічними процесами.

Особливо чутливими до дефіциту кадрів є роботи, що виконуються потоковим методом. Зменшення чисельності робочих бригад або їх нерівномірна присутність у часі призводять до порушення ритмічності потоків, що, у свою чергу, зумовлює необхідність їх часткового або повного згортання. У таких умовах навіть короткочасна нестача персоналу може спричинити ланцюгову реакцію зупинок і простоїв на суміжних ділянках. [61, 62, 63, 65]

У практиці будівництва це проявляється у:

- зростанні кількості незапланованих перерв;
- подовженні міжопераційних пауз;
- зниженні коефіцієнта використання робочого часу;
- необхідності повторної мобілізації персоналу після простоїв.

Наукові дослідження в галузі організації будівельного виробництва вказують, що навіть за збереження номінальної чисельності працівників фактична продуктивність праці в умовах нестабільності може знижуватися на 20–40%. Це означає, що календарні строки, визначені на етапі проєктування, перестають відповідати реальним умовам виконання робіт. [13, 14, 17, 47, 48]

«Трудовий ресурс у будівництві є не лише кількісною, а й часовою категорією, чутливою до перерв, змін режимів роботи та зовнішніх обмежень» — зазначається у сучасних наукових публікаціях з організації виробництва.

Для кількісної оцінки впливу дефіциту трудових ресурсів на тривалість будівництва доцільно використовувати укрупнені аналітичні показники.

Таблиця 1.5

Вплив дефіциту трудових ресурсів на тривалість виконання будівельних робіт

Рівень забезпеченості кадрами	**Зміна продуктивності**	**Очікуване збільшення тривалості**
100% (норматив)	1,00	0%
85–90%	0,85–0,90	+10–15%
70–80%	0,70–0,80	+20–30%
<70%	<0,70	+35–50%

Наведені дані свідчать, що навіть відносно незначний дефіцит трудових ресурсів призводить до диспропорційного зростання тривалості будівництва, що повинно враховуватися при формуванні організаційно-технологічних рішень і календарних планів. [47, 48, 49, 50]

Таким чином, у сучасних умовах дефіцит трудових ресурсів слід розглядати не як другорядний ризик, а як системний фактор, який визначає необхідність адаптації методів планування та оптимізації тривалості будівництва. [49, 55, 106, 107]

Наведені дані свідчать, що навіть відносно незначний дефіцит трудових ресурсів призводить до диспропорційного зростання тривалості будівництва, що повинно враховуватися при формуванні організаційно-технологічних рішень і календарних планів.

Аналіз стану будівельної галузі України в умовах кризових впливів дозволяє зробити висновок, що тривалість будівництва формується під дією сукупності взаємопов’язаних факторів, жоден з яких не може бути розглянутий ізольовано. Енергетичні обмеження, дефіцит трудових ресурсів, порушення

логістики та нестабільність фінансування створюють складне середовище, в якому класичні організаційно-технологічні підходи втрачають свою ефективність. [49, 55, 106, 107]

Особливістю сучасного етапу розвитку будівельної галузі є те, що більшість кризових факторів має неперервний або повторюваний характер. Це означає, що будівельні проєкти змушені функціонувати в режимі постійної адаптації, а тривалість будівництва стає змінною величиною, яка коригується протягом усього життєвого циклу проєкту. [24, 37, 49, 108, 110]

Узагальнюючи результати аналізу, можна виділити такі ключові закономірності:

- зростання тривалості будівництва не є лінійною функцією зменшення ресурсів;
- основні часові втрати пов’язані з періодами зупинок і повторного запуску робіт;
- класичні методи планування не враховують накопичений ефект кризових перерв;
- виникає потреба у спеціальному інструментарії, здатному враховувати згортання потоків і перерозподіл ресурсів.

Саме ці положення формують наукове підґрунтя для подальшого дослідження, спрямованого на розробку науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного забезпечення та енергокризи. [47, 48, 50, 52]

1.4 Критичний аналіз застосування класичних організаційно-технологічних моделей визначення тривалості будівництва в умовах неритмічних робіт та енергетичних обмежень

Розвиток теорії організації будівельного виробництва історично відбувався в умовах відносної стабільності зовнішнього середовища, що визначило базові припущення, закладені в класичні організаційно-технологічні моделі. Зокрема, у більшості методик визначення тривалості будівництва передбачається наявність

прогнозованого ресурсного забезпечення, можливість підтримання ритмічності робіт і відсутність системних зовнішніх обмежень, що порушують безперервність виробничих процесів. [13, 14, 61, 62, 65]

У сучасних умовах енергокризи ці припущення не виконуються, що створює принципову методологічну проблему: класичні моделі формально залишаються коректними, але втрачають прогностичну здатність. Це означає, що помилка визначення тривалості будівництва має не випадковий, а системний характер. [24, 37, 39, 45, 49]

У сучасній науковій і практичній діяльності з організації будівельного виробництва домінують організаційно-технологічні моделі, сформовані в умовах відносної стабільності ресурсного середовища. До таких моделей належать нормативні, календарно-мережеві та потокові підходи, які історично довели свою ефективність за умови прогнозованої доступності трудових, матеріально-технічних та енергетичних ресурсів. Проте застосування зазначених моделей у сучасних кризових умовах супроводжується суттєвими методичними обмеженнями, що безпосередньо впливають на достовірність визначення тривалості будівництва.

Ключовою характеристикою сучасних умов реалізації інвестиційно-будівельних проєктів є неритмічність виконання робіт, яка формується під впливом повторюваних енергетичних, ресурсних та організаційних обмежень. Неритмічність у даному контексті слід розглядати не як випадкове відхилення від плану, а як системну властивість будівельного процесу, що потребує окремого наукового аналізу. [13, 16, 35, 61, 65]

У нормативних, календарно-мережевих і потокових моделях тривалість будівництва розглядається як результат фіксованої організаційно-технологічної структури. Навіть у випадку використання стохастичних підходів (PERT) випадковість трактуються як коливання навколо сталого середнього значення.

Проте результати сучасних досліджень (у тому числі наведені у ваших публікаціях 2023–2025 рр.) свідчать, що в умовах нестійкого ресурсного забезпечення:

- тривалість робіт змінюється стрибкоподібно, а не плавно;
- часові втрати накопичуються внаслідок перерв, а не зниження продуктивності;
- відновлення робіт після зупинки супроводжується додатковими часовими витратами, які не компенсуються прискоренням.

Таким чином, між статичною природою моделей і динамічним характером реального середовища виникає методологічна суперечність, яка не може бути усунена шляхом простого коригування нормативів або коефіцієнтів.

У класичній теорії організації будівельного виробництва ритмічність розглядається як умова рівномірного та безперервного виконання робіт у часі з узгодженим використанням ресурсів. Відповідно, неритмічність трактувалася як відхилення від оптимального режиму, що має тимчасовий або локальний характер. [47, 48, 49, 50]

Однак у сучасних умовах енергокризи неритмічність набуває хронічного характеру. Вона проявляється у:

- регулярних перервах виконання робіт;
- зміні інтенсивності робіт у межах одного календарного періоду;
- порушенні узгодженості між суміжними технологічними процесами;
- повторному згортанні та відновленні фронтів робіт.

Таким чином, неритмічність перестає бути винятком і стає базовою умовою функціонування будівельного виробництва, що принципово змінює вимоги до моделей визначення тривалості будівництва.

У класичній теорії неритмічність виконання робіт розглядається як негативне відхилення від оптимального режиму. Вона трактується як наслідок організаційних помилок або тимчасових збоїв, що можуть бути усунуті управлінськими рішеннями. [49, 50]

Однак аналіз практики будівництва в умовах енергокризи показує, що неритмічність:

- має регулярний характер;
- зумовлена зовнішніми обмеженнями, а не внутрішніми помилками;
- не може бути повністю усунута управлінськими засобами.

У цьому контексті неритмічність доцільно розглядати як фундаментальну властивість сучасного будівельного процесу, що вимагає відповідного теоретичного осмислення. Саме ігнорування цієї властивості призводить до того, що класичні моделі визначення тривалості будівництва демонструють систематичне заниження розрахункових строків.

Нормативні підходи до визначення тривалості будівництва базуються на усереднених показниках, які не враховують часову структуру перерв і простоїв. У таких моделях тривалість розглядається як сума тривалостей окремих процесів, скоригованих на коефіцієнти виконання норм.

У неритмічних умовах така модель стає методично некоректною з таких причин:

- перерви між роботами не є пропорційними обсягам виконаних робіт;
- часові втрати накопичуються нелінійно;
- повторне відновлення робіт супроводжується додатковими підготовчими витратами часу.

Календарно-мережеві моделі (CPM, PERT), у свою чергу, ґрунтуються на припущенні фіксованої або статистично описуваної тривалості робіт. Проте в умовах енергетичних обмежень тривалість окремих робіт залежить не лише від технологічних параметрів, а й від зовнішніх часових вікон доступності ресурсів, що не описується стандартними мережевими моделями. [47, 48, 49, 50]

Особливе місце у формуванні часових втрат посідає процес згортання будівельних потоків, який детально досліджується у ваших публікаціях 2023 року. У класичних потокових моделях передбачається безперервність і сталість потоку, тоді як його згортання розглядається як виняткова ситуація.

У реальних умовах енергокризи згортання потоків:

- виникає регулярно;
- охоплює не лише одну ланку, а всю систему потоків;
- супроводжується перерозподілом трудових ресурсів і зміною просторово-часової структури робіт.

Ключовою методологічною проблемою є те, що класичні моделі не містять змінних, які описують процес згортання та відновлення потоків. У результаті часові втрати, пов’язані з цими процесами, залишаються поза межами розрахункових моделей і компенсуються лише постфактум шляхом продовження строків будівництва.

Потокові методи організації будівництва традиційно розглядаються як ефективний інструмент скорочення строків за рахунок паралельності та ритмічності виконання робіт. Проте саме ці методи виявляються найбільш вразливими до неритмічності ресурсного забезпечення. [13, 16, 35, 61, 65]

У випадку енергетичних обмежень або дефіциту трудових ресурсів виникає необхідність згортання будівельних потоків, що означає:

- припинення роботи окремих ланок потоку;
- зміну просторово-часової конфігурації виконання робіт;
- перерозподіл трудових ресурсів між об’єктами або етапами.

Класичні потокові моделі не містять формалізованого опису процесу згортання потоків, розглядаючи його як аварійну або виняткову ситуацію. У сучасних умовах такий підхід є неприйнятним, оскільки згортання потоків стає регулярним елементом будівельного процесу, який має безпосередній вплив на загальну тривалість будівництва. [24, 45, 49]

Енергетична криза вносить у систему організації будівництва якісно новий тип обмежень — часові вікна доступності енергоресурсів. На відміну від традиційних ресурсних обмежень, енергетичні мають:

- дискретний характер;
- змінну тривалість;

- регіональну диференціацію.

Це означає, що можливість виконання робіт визначається не лише їх технологічною готовністю, а й зовнішнім графіком енергопостачання, який не інтегрований у класичні календарні моделі. Внаслідок цього реальна тривалість будівництва формується як результат накладання двох незалежних часових структур: технологічної та енергетичної.

Особливістю енергетичних обмежень є їх дискретно-часовий характер. Роботи можуть виконуватися лише у певні часові інтервали, що визначаються графіками енергопостачання або можливостями автономної генерації. Це створює принципово новий тип часових обмежень, які: [39, 45, 49]

- не корелюють безпосередньо з обсягами робіт;
- не є сталими протягом усього періоду будівництва;
- впливають на різні види робіт неоднаково.

Таким чином, тривалість будівництва формується не лише як функція технологічної послідовності, а й як результат накладання часових вікон доступності енергетичних ресурсів.

Сучасні цифрові інструменти (BIM, 4D-моделювання) потенційно дозволяють враховувати часову динаміку будівництва. Проте без відповідного методичного наповнення вони залишаються інструментами візуалізації, а не аналізу. [24, 37, 39]

Як показано у ваших публікаціях 2024–2025 рр., відсутність формалізованих моделей адаптації тривалості призводить до того, що цифрові середовища не враховують:

- періоди згортання робіт;
- перерозподіл ресурсів;
- зміну критичних шляхів у процесі реалізації проєкту.

Таким чином, проблема визначення тривалості будівництва не може бути вирішена виключно шляхом цифровізації без перегляду базових організаційно-технологічних моделей. [24, 37, 49]

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що у сучасних умовах існує науково-методологічна проблема, яка полягає у невідповідності між:

- реальним характером будівельного процесу в умовах енергокризи;
- та можливостями існуючих моделей визначення тривалості будівництва.

Ця невідповідність зумовлює необхідність розробки нового науково-прикладного інструментарію, який дозволить:

- формалізувати процеси згортання та відновлення потоків;
- врахувати нестійкість ресурсного забезпечення;
- адаптувати календарні рішення у процесі реалізації проєктів.

Саме вирішенню цієї проблеми присвячені подальші розділи дисертаційної роботи.

Критичний аналіз класичних організаційно-технологічних моделей свідчить, що їх головним методичним обмеженням є статичність. Усі розрахунки тривалості виконуються на основі фіксованих параметрів, які не змінюються в процесі реалізації проєкту. [39, 45, 49]

У сучасних умовах необхідний перехід до адаптивних моделей, у яких:

- тривалість окремих робіт може змінюватися залежно від ресурсного стану;
- періоди згортання потоків є формалізованими елементами моделі;
- передбачена можливість динамічного коригування календарних рішень.

Саме відсутність таких моделей у наявному науково-практичному інструментарії і формує наукову проблему, що обґрунтовує необхідність подальших досліджень.

1.5 Узагальнення аналітичних досліджень та формування наукових передумов удосконалення підходів до визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи

Проведений у межах першого розділу аналіз стану будівельної галузі, впливу кризових чинників зокрема, енергетичних обмежень на організацію будівельного виробництва дає підстави стверджувати, що проблема визначення тривалості будівництва в сучасних умовах має системний, багатофакторний і динамічний характер. На практиці це проявляється у стабільному зростанні відхилень між плановими та фактичними строками реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, збільшенні кількості простоїв, ускладненні календарного планування та зниженні передбачуваності процесів будівництва. Відтак тривалість будівництва стає не лише календарним показником, а комплексним індикатором стійкості організаційно-технологічних рішень, якості управління ресурсами та здатності проєкту адаптуватися до зовнішніх обмежень. [1, 24, 36, 37, 108, 109]

У класичній організації будівельного виробництва тривалість обґрунтовується через нормативні й технологічні параметри, календарно-мережеві залежності, ритмічність потоків та прогнозовану продуктивність. Проте умови енергокризи принципово змінюють характер часу як ресурсу будівельного процесу. Час перестає бути безперервним і керованим виключно внутрішніми рішеннями проєкту, оскільки на нього накладаються зовнішні обмеження у вигляді дискретних «вікон доступності» енергопостачання, нерівномірності ресурсного забезпечення, логістичних перерв і кадрових дисбалансів. Унаслідок цього реальна тривалість формується не тільки сумою тривалостей операцій, а й накопиченням втрат, пов’язаних із перериванням і відновленням робіт, зміною фронтів, перерозподілом трудових ресурсів та порушенням ритмічності. **[1, 108, 109]**

Наукова й практична література з управління проєктами наголошує, що точність календарного плану прямо залежить від стабільності середовища, в якому він реалізується. У методологіях класичного проєктного менеджменту

(зокрема, підходах, систематизованих у PMBOK та працях Г. Керцнера) планування строків передбачає наявність достатньо повних вихідних даних, прогнозованість ресурсного забезпечення та контрольованість ризиків. Однак енергокриза є прикладом фактору, який має високу повторюваність, невизначеність і неоднорідність у просторі й часі. Це зумовлює необхідність переходу від статичного визначення тривалості (одноразового розрахунку) до динамічного визначення та уточнення тривалості (перерахунку на основі змін параметрів середовища й стану ресурсів). **[1, 24, 36, 109]**

У межах розділу 1 було показано, що застосування нормативних і традиційних календарно-мережевих підходів у кризових умовах характеризується кількома принциповими методичними недоліками.

По-перше, ці підходи переважно оперують середніми значеннями продуктивності та нормативними тривалостями, не враховуючи механізму накопичення часових втрат від повторюваних перерв. [13, 14, 16, 32, 35, 61, 62]

По-друге, календарні моделі зазвичай не формалізують енергетичні обмеження як окремий тип ресурсних обмежень, що діє дискретно й задає часові інтервали можливості виконання робіт.

По-третє, при порушенні ритмічності потоків і виникненні необхідності їх згортання та повторного розгортання класичні моделі не дають інструмента кількісної оцінки додаткового часу на «перезапуск» процесів, втрат продуктивності на етапах відновлення та системних наслідків для суміжних операцій і критичного шляху.

Особливо важливим висновком аналітичного розділу є те, що в умовах енергокризи часові втрати мають не просто додатковий, а структурний характер. На практиці будівельний процес «втрачає» час не лише під час простою (коли роботи не виконуються), а й у момент відновлення — через організаційні переформатування, повторні підготовчі операції, зміну режимів роботи техніки, перебудову логістики, часткове розосередження або переміщення бригад. Ці витрати часу зазвичай не відображаються у нормативних тривалостях і не компенсуються автоматично підвищенням інтенсивності, якщо не залучаються

додаткові ресурси. Саме тому в реальній практиці спостерігається явище «кумулятивного відставання», коли кожен наступний збій спричиняє більший ефект, ніж попередній, і загальна тривалість зростає швидше, ніж це передбачають спрощені коригувальні коефіцієнти. **[13, 35, 61, 62]**

У цьому контексті доречно звернутися до логіки «управління обмеженнями» (Theory of Constraints), яку у світовій практиці відображено, зокрема, у підходах Е. Ґолдратта та методі критичного ланцюга (CCPM). Для будівництва в умовах нестійкого забезпечення це означає, що тривалість визначається не стільки середніми параметрами всіх робіт, скільки поведінкою системних обмежень — енергодоступності, критичних ресурсів (ключових бригад, техніки, матеріалів) та їх взаємодії з технологічними зв'язками. Якщо енергетичне обмеження стає домінуючим, то саме воно задає верхню межу реальної інтенсивності процесів, а календарний план має бути «підпорядкований» цьому обмеженню. [13, 17, 47, 48, 50]

Разом із тим, практика будівництва показує, що на рівні організації робіт ключовим механізмом, через який енергокриза впливає на строки, є неритмічність та згортання потоків. Саме тут безпосередньо проявляється наукова база ваших досліджень 2023 року щодо впливу періоду згортання потоків на перерозподіл невикористаного трудового ресурсу у неритмічних роботах і можливостей оптимізації без залучення додаткових трудових ресурсів. Аналітичний розділ дозволяє узагальнити: у ситуації, коли «додати людей» або «додати зміну» неможливо або економічно нераціонально, ключовим інструментом стає не просте прискорення, а раціональний перерозподіл наявного ресурсу у часі й просторі, керування періодами згортання/розгортання та мінімізація втрат на переходах між режимами роботи. [48, 50]

Важливий аспект, який суттєво підсилює наукову аргументацію, полягає у розрізненні двох різних типів зростання тривалості будівництва. Перший тип — «технологічний», коли зростання строків спричинене збільшенням обсягів, складності або тривалості технологічних операцій. Другий тип — «організаційно-ресурсний», коли зростання строків відбувається через

обмеження середовища (енергія, кадри, логістика), навіть якщо обсяги та технології не змінюються. У сучасних умовах домінує саме другий тип, а отже методичний фокус має бути перенесений із «підбору нормативів» на «моделювання поведінки системи при обмеженнях». [24, 25, 37, 39, 45, 49]

Цифровізація будівництва, яка відображена у проведених дослідженнях (зокрема, про оптимізацію процесів через цифровізацію та підхід до формування цифрового й організаційно-технологічного інструментарію для управління циклом проєктів відбудови), відкриває можливості для формування нового інструментарію визначення тривалості. Однак аналітичний розділ також дозволяє зробити критичний висновок: цифрові засоби (BIM/4D, інформаційні панелі, сценарне моделювання) самі по собі не гарантують точності прогнозу строків, якщо в їх основу не покладено методично коректні моделі врахування неритмічності, згортання потоків та обмежень енергетичної доступності. Тобто цифровізація є платформою, але не замінює наукового інструментарію; вона потребує його наповнення та правил застосування. [39, 45, 49]

Отже, за результатами розділу 1 можна зафіксувати такі узагальнені положення, які формують наукові передумови дисертаційного дослідження.

По-перше, енергокриза та нестійкість ресурсного забезпечення змінюють часову структуру будівельного процесу, переводячи його у режим переривчастої реалізації, де основний внесок у збільшення тривалості формують не стільки технологічні, скільки організаційні втрати часу.

По-друге, класичні методи планування строків мають обмеження, що проявляються у неврахуванні дискретних енергетичних обмежень, механізму згортання потоків та кумулятивного ефекту перерв. [24, 25, 37, 49]

По-третє, в умовах обмеженої можливості залучення додаткових ресурсів ключовим резервом скорочення тривалості стає оптимізація організаційно-технологічних рішень: керування періодами згортання/розгортання, раціональний перерозподіл трудового ресурсу, адаптивна перебудова календарних залежностей.

По-четверте, цифрові інструменти можуть забезпечити підвищення керованості строків лише за умови наявності формалізованого науково-прикладного апарату, який інтегрує дані про ресурсну нестійкість та енергетичні режими у моделі визначення тривалості. [45, 46, 49, 50, 51]

Таким чином, сформована у розділі 1 аналітична база обґрунтовує необхідність розробки та впровадження науково-прикладного інструментарію визначення і оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи. Такий інструментарій має відповідати кільком обов’язковим вимогам. Він повинен: (1) враховувати неритмічність робіт як регулярний режим, а не як виняток; (2) формалізувати періоди згортання потоків та їх наслідки для використання трудового ресурсу; (3) інтегрувати енергетичні обмеження у календарні залежності через часові вікна доступності; (4) забезпечувати адаптивність планування, тобто можливість коригування тривалості на основі фактичного стану ресурсів; (5) бути придатним для практичного використання у проєктах реконструкції та відбудови, де часовий фактор є критично важливим.

Виходячи з наведеного, подальші розділи дисертаційної роботи логічно спрямовуються на формування теоретико-методологічної основи такого інструментарію (розділ 2), розробку авторських моделей і методів (розділ 3) та їх практичну апробацію й оцінку ефективності (розділ 4). Саме послідовність «аналітика → теорія → авторський інструментарій → практична перевірка» забезпечує цілісність дослідження та відповідність вимогам до кваліфікаційної роботи доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво і цивільна інженерія». [47, 48, 50, 52]

Висновки до розділу 1

1. У першому розділі дисертаційної роботи здійснено комплексний аналіз сучасного стану будівельної галузі та умов реалізації інвестиційно-будівельних проєктів у контексті енергетичної кризи та нестійкого ресурсного забезпечення. Проведене дослідження дозволило встановити, що проблема визначення тривалості будівництва в сучасних умовах набула системного характеру й не може бути розв'язана в межах традиційних організаційно-технологічних підходів без їх суттєвого наукового переосмислення.

2. Аналіз статистичних показників розвитку будівельної галузі України показав, що упродовж останніх років спостерігається значна волатильність обсягів будівельних робіт, зміна їх структури, зростання частки незавершеного будівництва та збільшення розриву між плановими й фактичними строками реалізації проєктів. Виявлено, що ці тенденції є не тимчасовими відхиленнями, а відображенням глибших кризових процесів, які формують нове середовище функціонування будівельного виробництва. У такому середовищі стабільність ресурсного забезпечення, яка традиційно вважалася базовою передумовою ефективного планування, фактично відсутня.

3. У ході аналізу встановлено, що енергетична криза виступає одним із ключових чинників, які безпосередньо впливають на тривалість будівництва. Перебої електропостачання, обмеження потужності, необхідність переходу на автономні джерела енергії формують дискретні часові вікна можливості виконання робіт і призводять до порушення безперервності будівельного процесу. Це означає, що реальна тривалість будівництва формується не лише технологічними параметрами, а й зовнішніми енергетичними обмеженнями, які не враховуються або враховуються опосередковано в існуючих методиках планування.

4. Проведений аналіз також показав, що дефіцит і нерівномірність використання трудових ресурсів є одним із найсуттєвіших факторів зростання фактичної тривалості будівництва. У сучасних умовах трудовий ресурс перестає бути стабільною величиною, що підлягає простому нормуванню. Зміни

чисельності персоналу, вимушені перерви в роботі, перерозподіл бригад між об’єктами, а також зниження продуктивності праці в умовах енергетичних обмежень призводять до порушення ритмічності виконання робіт і накопичення прихованих часових втрат. Установлено, що ці втрати мають кумулятивний характер і не компенсуються автоматично подальшою інтенсифікацією робіт без залучення додаткових ресурсів.

5. Критичний аналіз існуючих методів визначення тривалості будівництва засвідчив, що нормативні, календарно-мережеві та класичні потокові моделі формувалися за умов відносної стабільності зовнішнього середовища і ґрунтуються на припущенні безперервності та ритмічності виконання робіт. У сучасних кризових умовах ці припущення не виконуються, що зумовлює систематичне заниження розрахункових строків будівництва. Виявлено, що коригування нормативів або введення додаткових коефіцієнтів не дозволяє адекватно врахувати вплив повторюваних перерв, енергетичних обмежень і неритмічності ресурсного забезпечення.

6. Особливу увагу у розділі приділено аналізу проблеми згортання та повторного розгортання будівельних потоків. Встановлено, що в умовах енергокризи згортання потоків перестає бути винятковою ситуацією і стає регулярним елементом організаційно-технологічної структури будівельного процесу. Класичні потокові моделі не містять формалізованого опису цього явища і не дозволяють кількісно оцінити часові втрати, пов’язані з перериванням і відновленням робіт, перерозподілом трудових ресурсів і зміною фронтів виконання. Саме цей методичний розрив є одним із ключових чинників невідповідності між плановою та фактичною тривалістю будівництва.

7. У результаті аналітичного дослідження зроблено висновок, що зростання тривалості будівництва в сучасних умовах має переважно організаційно-ресурсний характер, а не технологічний. Навіть за незмінних обсягів і технологій виконання робіт строки реалізації проєктів збільшуються внаслідок нестійкості ресурсного середовища, повторюваних перерв і необхідності адаптації організаційно-технологічних рішень. Це означає, що

фокус подальших наукових досліджень має бути перенесений з удосконалення нормативів тривалості на розробку методів моделювання поведінки будівельного процесу в умовах обмежень.

8. Аналіз можливостей цифровізації будівельних процесів показав, що сучасні BIM- та 4D-інструменти створюють передумови для підвищення керованості строків будівництва, проте самі по собі не вирішують проблему визначення тривалості. Без науково обґрунтованих моделей урахування неритмічності, згортання потоків і енергетичних обмежень цифрові інструменти виконують переважно візуалізаційну функцію і не забезпечують адекватного прогнозування строків. Таким чином, цифровізація повинна розглядатися як платформа для реалізації науково-прикладного інструментарію, а не як його заміна.

9. Узагальнюючи результати першого розділу, можна стверджувати, що у сучасних умовах сформувалася науково-практична проблема, яка полягає у невідповідності між реальним характером будівельного процесу в умовах енергокризи та можливостями існуючих методів визначення тривалості будівництва. Подолання цієї невідповідності потребує розробки науково-прикладного інструментарію, який враховує нестійкість ресурсного забезпечення, формалізує процеси згортання та відновлення потоків, інтегрує енергетичні обмеження у календарні залежності та забезпечує адаптивність управління строками реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

10. Отримані у розділі 1 результати створюють аналітичну основу для подальших досліджень і обґрунтовують необхідність формування теоретико-методологічних положень, спрямованих на удосконалення підходів до визначення тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного середовища. Саме ці питання розглядаються у другому розділі дисертаційної роботи, де формується предмет дослідження, уточнюється понятійний апарат і визначаються методологічні засади розробки авторського науково-прикладного інструментарію.

РОЗДІЛ 2
ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ НАУКОВО-ПРИКЛАДНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ НЕСТІЙКОГО РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Подальший розвиток дослідження тривалості будівництва в умовах енергетичної кризи та нестійкого ресурсного забезпечення потребує переходу від аналітичного опису проблемних явищ до формування теоретико-методологічної основи їх наукового пояснення. Без чіткого визначення методологічних підходів, понятійного апарату та інструментів наукового аналізу неможливе коректне формулювання наукової проблеми, вибір адекватних методів дослідження та побудова науково-прикладного інструментарію, спрямованого на оптимізацію тривалості будівництва. [13, 14, 16, 33, 61, 62]

У межах наукової спеціальності «Будівництво і цивільна інженерія» (спеціалізація «Організація та управління промисловим і цивільним будівництвом») тривалість будівництва традиційно розглядається як похідна від організаційно-технологічних рішень, прийнятих на стадіях проєктування та планування. Водночас сучасні умови реалізації інвестиційно-будівельних проєктів характеризуються суттєвим зростанням ролі зовнішніх обмежень, зокрема ресурсних та енергетичних, які не можуть бути повністю враховані в межах класичних підходів до планування строків. Це зумовлює необхідність методологічного переосмислення самої природи тривалості будівництва як наукової категорії. [13, 14, 17]

Методологія даного дослідження ґрунтується на розгляді будівельного процесу як складної відкритої системи, що функціонує в умовах динамічної взаємодії технологічних, організаційних і ресурсних факторів. У такій системі тривалість будівництва формується не лише технологічною послідовністю виконання робіт, а й режимами доступності ресурсів, рівнем ритмічності будівельних потоків, характером перерв і відновлення робіт, а також здатністю

організаційно-технологічних рішень адаптуватися до змін зовнішнього середовища. [15, 16, 18]

Особливістю сучасного етапу розвитку будівельної галузі є те, що енергетичні обмеження та нестійкість ресурсного забезпечення мають не випадковий, а повторюваний характер. Це означає, що відповідні чинники повинні розглядатися не як виняткові ситуації, а як постійні елементи середовища функціонування будівельних проєктів. Відтак методологія дослідження тривалості будівництва має включати інструменти аналізу неритмічності робіт, згортання та повторного розгортання будівельних потоків, а також механізми оцінки часових втрат, що виникають у процесі адаптації до обмежень.

Формування теоретико-методологічних засад дослідження здійснюється з урахуванням напрацювань вітчизняної наукової школи організації та управління будівництвом, представленої працями професорів О.А. Тугая, В.О. Поколенка, А.Д. Єсипенка та інших учених. Разом із тим, у межах цього розділу здійснюється критичне осмислення існуючих підходів з метою їх адаптації до сучасних умов та інтеграції з положеннями системного, процесного та ресурсного підходів. [13, 14, 15, 16, 17, 18]]

Таким чином, розділ 2 має на меті створити методологічне підґрунтя для подальшого формування наукової проблеми, вибору та обґрунтування наукового інструментарію дослідження, а також розробки авторських моделей визначення тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного забезпечення. Саме на цій основі у наступних підрозділах розділу здійснюється деталізація методологічних підходів, уточнення понятійного апарату та формування логіки подальшого дослідження.

2.1 Методологічні основи дослідження організації та управління тривалістю будівництва в умовах нестійкого ресурсного забезпечення

Методологічні засади дослідження організації та управління тривалістю будівництва формуються на перетині інженерних, економічних та управлінських наук і відображають еволюцію уявлень про будівельний процес як складну

виробничу систему. У межах наукової спеціальності «Організація та управління промисловим і цивільним будівництвом» тривалість будівництва традиційно розглядалася як похідна від технологічної послідовності робіт, продуктивності праці та рівня організаційної узгодженості між учасниками будівельного процесу. Проте сучасні умови реалізації інвестиційно-будівельних проєктів вимагають перегляду класичних методологічних підходів, оскільки середовище функціонування будівництва зазнало суттєвих структурних змін. 13, 14, 15, 16, 17, 18]

У працях вітчизняних учених з організації будівельного виробництва, зокрема професора О.А. Тугая, тривалість будівництва розглядається як інтегральний показник ефективності організаційно-технологічних рішень, що відображає ступінь узгодженості ресурсних, технологічних і управлінських параметрів проєкту. При цьому підкреслюється, що календарні строки не можуть визначатися ізольовано від умов реалізації будівельного процесу, а повинні формуватися з урахуванням реального виробничого середовища. Такий підхід є принципово важливим для сучасних досліджень, оскільки дозволяє розглядати тривалість не як статичну величину, а як результат взаємодії множини змінних факторів. [15, 16, 18]

Розвиток методології організації будівництва у працях професора В.О. Поколенка ґрунтується на системному підході до управління інвестиційно-будівельними проєктами, у межах якого будівельний процес розглядається як відкрита система, що функціонує в умовах постійної взаємодії із зовнішнім середовищем. У такій постановці тривалість будівництва визначається не лише внутрішньою логікою технологічних процесів, а й зовнішніми обмеженнями — економічними, ресурсними, організаційними. Ці положення набувають особливої актуальності в умовах енергетичної кризи, коли зовнішні фактори починають відігравати домінуючу роль у формуванні календарних строків. [15, 16, 18]

У наукових працях А.Д. Єсипенка значну увагу приділено проблемам організаційної надійності будівельного виробництва та впливу порушень

ресурсного забезпечення на ритмічність виконання робіт. Дослідник наголошує, що в умовах нестабільності ключовим завданням управління є не стільки досягнення формально оптимальних показників, скільки забезпечення стійкості процесу реалізації проєкту до зовнішніх і внутрішніх збурень. У цьому контексті тривалість будівництва виступає показником, чутливим до найменших порушень у системі ресурсного забезпечення, і тому може використовуватися як індикатор рівня організаційної надійності. [17, 18]

Узагальнюючи положення, сформульовані в роботах провідних вітчизняних учених, можна стверджувати, що методологія дослідження тривалості будівництва в межах наукової спеціальності 192 базується на таких фундаментальних принципах: системності, комплексності, адаптивності та орієнтації на реальні умови виробництва. Водночас аналіз сучасних умов реалізації будівельних проєктів свідчить, що традиційні методологічні підходи потребують суттєвого розширення та уточнення, оскільки вони формувалися в умовах відносної стабільності ресурсного середовища.

Енергетична криза, яка характеризується нерівномірністю та непередбачуваністю постачання енергоресурсів, вносить принципово нові обмеження у процес організації будівництва. На відміну від класичних ресурсних обмежень, енергетичні мають дискретний характер і безпосередньо визначають можливість або неможливість виконання певних видів робіт у конкретні часові інтервали. Це означає, що час у будівельному процесі набуває властивостей зовнішнього обмеженого ресурсу, який не може бути повністю керованим у межах проєкту. Відповідно, методологія дослідження тривалості будівництва повинна враховувати цю особливість і включати механізми аналізу впливу енергетичних обмежень на календарні параметри. [24, 25, 27, 29, 37, 108]

У міжнародній науковій думці проблеми управління строками в умовах нестабільності розглядаються в межах теорії управління проєктами, системного аналізу та теорії обмежень. Водночас більшість цих підходів орієнтовані на універсальні проєктні середовища і не враховують специфіку будівельного виробництва, зокрема його потоковий характер, просторову прив’язаність і

високу залежність від енергетичних ресурсів. Саме тому адаптація загальних методологічних положень управління проєктами до умов будівництва є важливим завданням наукових досліджень у межах спеціальності 192. [61, 62, 63, 64, 65, 67]

У межах даного дослідження методологічною основою обрано поєднання системного, процесного та ресурсного підходів до аналізу будівельного виробництва. Системний підхід дозволяє розглядати будівельний проєкт, як сукупність взаємопов'язаних елементів, у якій зміна одного параметра (наприклад, доступності енергоресурсів) призводить до трансформації всієї системи календарних залежностей. Процесний підхід дає змогу аналізувати будівельний процес у динаміці, з урахуванням фаз, переходів і періодів переривання. Ресурсний підхід, у свою чергу, забезпечує можливість кількісної оцінки впливу обмежень ресурсного забезпечення на тривалість виконання робіт. [13, 14, 45, 46, 49]

Вибір зазначених методологічних підходів зумовлений необхідністю перейти від статичних моделей визначення тривалості будівництва до адаптивних моделей, здатних відображати реальні умови функціонування будівельного виробництва в умовах енергокризи. Такий перехід відповідає як сучасним тенденціям розвитку науки з організації будівництва, так і практичним потребам галузі, особливо в контексті проєктів реконструкції та відбудови.

Таким чином, методологічні основи дослідження, сформульовані у цьому підпункті, визначають логіку подальшого викладення матеріалу у розділі 2 і створюють теоретичне підґрунтя для формування наукової проблеми, вибору інструментарію дослідження та розробки авторських методів визначення тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного забезпечення. [45, 46, 50].

2.2 Розвиток наукових підходів до організації та управління тривалістю будівництва у вітчизняній науковій школі

Формування наукових підходів до організації та управління тривалістю будівництва в Україні відбувалося в межах вітчизняної наукової школи організації будівельного виробництва, яка історично поєднувала інженерні, економічні та управлінські аспекти реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. На відміну від загальних теорій управління проєктами, вітчизняні дослідження традиційно ґрунтувалися на глибокому аналізі технологічної специфіки будівництва, потокового характеру робіт, просторово-часової прив'язаності процесів і високої залежності результатів від організаційних рішень. [13, 14, 15]

У працях провідних учених цієї наукової школи тривалість будівництва розглядалася не лише як календарний параметр, а як інтегральний показник, що відображає ефективність організаційно-технологічних рішень, рівень узгодженості між учасниками будівельного процесу та якість управління ресурсами. Такий підхід принципово відрізняється від спрощеного нормативного трактування строків і створює методологічне підґрунтя для сучасних досліджень у сфері організації та управління промисловим і цивільним будівництвом. [13, 14, 15, 16]

Вагомий внесок у розвиток теорії організації будівельного виробництва зробив професор О.А. Тугай, у працях якого особлива увага приділяється взаємозв'язку між організаційною структурою будівельного процесу, технологічною послідовністю виконання робіт і календарними строками реалізації проєктів. Учений розглядає тривалість будівництва як результат узгодження виробничих потоків, ресурсного забезпечення та управлінських рішень, підкреслюючи, що будь-яке порушення цієї узгодженості неминуче призводить до зростання строків. Важливим є положення про те, що тривалість не може бути визначена раз і назавжди на етапі проєктування, а повинна розглядатися як параметр, чутливий до змін умов реалізації будівельного процесу. [15, 16]

У наукових дослідженнях професора В.О. Поколенка організація будівництва розглядається з позицій системного підходу, у межах якого інвестиційно-будівельний проєкт трактується як складна відкрита система. У такій системі тривалість будівництва формується під впливом як внутрішніх факторів (технологія, організація, ресурси), так і зовнішніх умов, що можуть змінюватися в процесі реалізації проєкту. Особливу увагу у працях цього науковця приділено проблемам узгодження календарних рішень із реальними можливостями ресурсного забезпечення, що є принципово важливим для досліджень у сучасних умовах нестійкості. [15, 16]

Професор А.Д. Єсипенко у своїх роботах акцентує увагу на питаннях організаційної надійності будівельного виробництва, розглядаючи її як здатність системи зберігати працездатність і передбачуваність результатів за умов впливу дестабілізуючих факторів. У цьому контексті тривалість будівництва виступає одним із ключових показників надійності організаційно-технологічних рішень. Учений підкреслює, що відхилення фактичних строків від планових є наслідком не лише технологічних труднощів, а й організаційних рішень, які не враховують реальний характер ресурсних обмежень. [17, 18]

Аналіз праць зазначених учених дозволяє зробити висновок, що вітчизняна наукова школа організації будівельного виробництва традиційно приділяла значну увагу проблемам календарного планування, ритмічності робіт і потокової організації будівництва. Водночас більшість досліджень проводилася в умовах, коли енергетичне та ресурсне забезпечення розглядалося як відносно стабільне, а зовнішні обмеження — як другорядні або тимчасові. Це зумовлює необхідність сучасного переосмислення класичних положень з урахуванням нових умов функціонування галузі. [13, 14, 15, 16, 17, 18]

У працях інших вітчизняних фахівців з організації та управління будівництвом, зокрема науковців КНУБА та НДІБВ, значна увага приділяється питанням потокової організації робіт, оптимізації календарних графіків і раціонального використання трудових ресурсів. При цьому наголошується, що ефективність потокових методів безпосередньо залежить від ритмічності

виконання робіт і стабільності ресурсного забезпечення. У випадку порушення цих умов відбувається зниження ефективності потоків, зростання простоїв і подовження строків будівництва. [19, 20, 21, 22]

Разом із тим, аналіз наукових публікацій показує, що проблема згортання та повторного розгортання будівельних потоків у більшості робіт розглядається фрагментарно або взагалі не формалізується. Згортання потоків зазвичай трактується як аварійна або виняткова ситуація, тоді як у сучасних умовах нестійкого ресурсного забезпечення воно набуває регулярного характеру. Відсутність методів кількісної оцінки часових втрат, пов'язаних із цими процесами, призводить до того, що тривалість будівництва визначається без урахування одного з ключових факторів її зростання. [47, 48, 49]

Важливим аспектом розвитку вітчизняних підходів є також дослідження взаємозв'язку між використанням трудових ресурсів і тривалістю будівництва. У ряді робіт підкреслюється, що нерівномірне завантаження персоналу, перерозподіл бригад між об'єктами та вимушені перерви в роботі призводять до зниження фактичної продуктивності праці. Це, у свою чергу, впливає на календарні строки навіть за незмінних обсягів робіт. Саме ці положення створюють методологічну основу для подальшого розвитку теоретико-прикладних підходів до оптимізації тривалості будівництва без залучення додаткових ресурсів. [47, 48, 50]

Узагальнюючи розвиток наукових підходів у межах вітчизняної школи організації та управління будівництвом, можна констатувати, що сформовано потужний теоретичний фундамент для аналізу тривалості будівництва як складного організаційно-технологічного показника. Водночас сучасні умови реалізації будівельних проєктів, зокрема енергетична криза та нестійкість ресурсного забезпечення, виявили низку методологічних прогалин, які не можуть бути усунуті в межах традиційних підходів. Це зумовлює необхідність розвитку й адаптації наявних теоретичних положень, а також формування нового науково-прикладного інструментарію, орієнтованого на управління тривалістю будівництва в умовах системних обмежень. [45, 46, 47, 48, 49, 50]

Формування теоретичних і методологічних засад організації та управління будівництвом в Україні відбувалося в межах потужної вітчизняної наукової школи, яка історично зосереджувалася на дослідженні будівельного процесу як складної виробничої системи. На відміну від загальноуправлінських підходів, характерних для класичного проєктного менеджменту, вітчизняні дослідження у сфері промислового та цивільного будівництва завжди базувалися на глибокому аналізі технологічної специфіки, потокового характеру робіт, просторово-часової організації будівельного виробництва та ресурсної обумовленості його результатів.

У працях провідних учених наукової спеціальності «Організація та управління промисловим і цивільним будівництвом» тривалість будівництва розглядається не як ізольований календарний параметр, а як інтегральний показник ефективності організаційно-технологічних рішень. Такий підхід чітко простежується у роботах професора О.А. Тугая, де наголошується, що календарні строки є результатом узгодження технологічних, організаційних і управлінських факторів, а будь-яке порушення цієї узгодженості неминуче трансформується у зростання фактичної тривалості будівництва.

У межах цієї наукової парадигми будівельний процес трактується як система взаємопов’язаних потоків — матеріальних, трудових, інформаційних і фінансових, — функціонування яких підпорядковане єдиній логіці досягнення проєктного результату. Саме потокова організація будівництва розглядається вітчизняною школою як ключовий інструмент скорочення строків і підвищення ритмічності виконання робіт. Водночас ефективність потоків безпосередньо залежить від стабільності ресурсного забезпечення, що в сучасних умовах не може вважатися гарантованою. [45, 46, 49, 50, 61, 63, 65]

Значний внесок у розвиток системного підходу до організації будівництва зробив професор В.О. Поколенко, у працях якого інвестиційно-будівельний проєкт розглядається як відкрита організаційно-технологічна система, що функціонує в умовах постійної взаємодії із зовнішнім середовищем. У цій концепції тривалість будівництва формується не лише внутрішніми параметрами

технології та організації, а й зовнішніми обмеженнями, які можуть змінюватися протягом життєвого циклу проєкту. Такий підхід створює методологічну основу для врахування нестійкості ресурсного середовища, зокрема енергетичних обмежень.

У працях А.Д. Єсипенка акцент зміщується на проблеми організаційно-технологічної надійності будівельного виробництва. Учений розглядає тривалість будівництва як один із ключових показників надійності, що відображає здатність системи реалізовувати проєктні рішення в умовах дії дестабілізуючих факторів. Важливим є положення про те, що відхилення строків мають не випадковий, а закономірний характер і пов’язані з особливостями організації ресурсного забезпечення та управління будівельними потоками.

Подальший розвиток цих положень простежується в роботах науковців КНУБА та НДІБВ, де розглядаються питання календарно-мережевого планування, оптимізації організаційно-технологічних рішень, управління трудовими ресурсами та забезпечення ритмічності будівельного виробництва. При цьому більшість класичних моделей ґрунтується на припущенні відносної стабільності умов реалізації проєкту, що відповідало індустріальній моделі розвитку будівництва попередніх десятиліть. [45, 46, 49, 50, 61, 63, 65]

Разом із тим, сучасні дослідження вітчизняних учених, зокрема у сфері діджитал-адаптованих організаційно-технологічних моделей, демонструють поступовий перехід до більш гнучких і варіативних підходів управління будівельним процесом. У цьому контексті важливими є результати досліджень, у яких розглядається інтеграція цифрових інструментів у системи організації будівництва, що дозволяє враховувати невизначеність і багатоваріантність розвитку проєктів.

Проте навіть у сучасних роботах питання впливу енергетичної нестабільності на тривалість будівництва залишається недостатньо формалізованим. Енергетичні обмеження зазвичай розглядаються опосередковано — через зниження продуктивності або зростання витрат, тоді як їхній прямий вплив на структуру календарних графіків, ритмічність потоків і

необхідність їх згортання практично не моделюється. Саме цей аспект формує методологічний розрив між класичними теоріями організації будівництва та сучасними умовами реалізації проєктів.

Таким чином, аналіз розвитку наукових підходів у вітчизняній школі організації та управління будівництвом свідчить про наявність потужної теоретичної бази, яка водночас потребує подальшого розвитку та адаптації. Зокрема, актуальним є поєднання системного та процесного підходів із методами моделювання нестійких ресурсних умов, що дозволить сформувати методологічне підґрунтя для розробки науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи.

2.3 Системотехнічне та формалізоване моделювання тривалості будівництва: методи, принципи та процедура побудови науково-прикладного інструментарію в умовах енергокризи

Методологічна складність дослідження тривалості будівництва в умовах енергокризи та нестійкого ресурсного забезпечення зумовлена тим, що будівельний процес у таких умовах набуває властивостей відкритої, динамічної, імовірнісної системи, у якій часові параметри є функцією не лише технологічної послідовності робіт, а й режимів доступності ресурсів, зовнішніх обмежень і внутрішніх механізмів адаптації. За такої постановки задачі коректне визначення тривалості не може базуватися виключно на нормативній оцінці або на «класичному» мережевому плануванні без розвитку інструментарію. Необхідною стає методологія, що поєднує системний аналіз, формалізоване організаційно-технологічне моделювання, сценарність, імітаційне моделювання, а також інструменти структуризації й оптимізації (у т. ч. морфологічний аналіз, декомпозиція, мікроінжиніринг, метод структуризації функцій якості тощо). [45, 46, 49, 50, 61, 63, 65]

У наведених у джерелах методологічних підходах підкреслюється, що достовірність та прикладна цінність результатів у дослідженнях організаційно-технологічного профілю забезпечується не одним методом, а комбінацією

методів, вибраних за логікою «система → модель → сценарії → оптимізація → коригування за фактом». Саме тому доцільно розглядати системотехнічне моделювання як «рамку», яка визначає порядок і правила використання окремих методів, зводячи їх у єдиний дослідницький інструментарій.

Системотехнічна позиція: від «часу роботи» до «часу функціонування системи»

Системотехнічний підхід у будівництві означає, що календарна тривалість трактується як характеристика функціонування системи будівельного виробництва, а не як механічна сума тривалостей операцій. У цьому підході ключовими стають:

- структура системи (склад елементів і зв'язків),
- функції системи (цілі й критерії результату),
- умови функціонування (обмеження й фактори зовнішнього та внутрішнього середовища),
- механізми адаптації (як система перебудовується при порушеннях).

У дослідженнях, які ви надали як методологічну опору, наголошено, що при формуванні змісту наукових результатів використовується універсальна методологія прийняття рішень та системний інструментарій: системний, процесний і ситуаційний аналіз, теорія багаторівневих систем, методологія інжинірингу, управління проєктами, морфологічний аналіз. [61, 63, 65, 66]

Саме така композиція методів є адекватною до вашої теми, оскільки енергокриза і нестійкість ресурсів роблять середовище реалізації проєктів ситуаційним і таким, що змінює «правила гри» у часі.

Важливо підкреслити: у сучасних умовах енергетичних обмежень тривалість будівництва визначається не лише «виконанням робіт», а й наявністю/відсутністю режимів, у яких виконання робіт можливе. Це логічно приводить до необхідності: [13, 15, 45, 46]

1. формалізувати часові «вікна доступності» енергії та критичних ресурсів;

2. включити до моделі періоди згортання/відновлення робіт;

3. описати наслідки згортання потоків (втрати продуктивності, перезапуски, зміна критичних шляхів);

4. забезпечити варіативність календарних рішень.

Проведені дослідження формують сильну наукову базу для такого переходу: дослідження впливу періоду згортання потоків на перерозподіл невикористаного трудового ресурсу в неритмічних роботах; аналіз згортання потоків без додаткового ресурсу; оптимізація організаційно-технологічних рішень і скорочення тривалості робіт в умовах енергокризи; цифровий та ОТ-інструментарій управління циклом проєктів відбудови тощо. У сумі ці роботи підводять до висновку: головний резерв управління тривалістю у нестійких умовах — це системна адаптація організації робіт і ресурсно-календарної програми, а не «нормативне перерахування» тривалостей. [47, 48, 49, 50, 51, 52]

Формалізація методології: принципи побудови ресурсно-календарної та організаційно-технологічної моделі. [50, 51, 52]

У методологічних джерелах, які ви надали, підкреслюється, що планування календарної програми та її раціоналізація повинні спиратися на структурний підхід до обґрунтування розподілу ресурсів (за компонентами дерева цілей, розділами плану, проблемами, у часі) та використання одного або кількох критеріїв з подальшим поєднанням в інтегральний критерій dis.

Також наголошено, що інтеграційний підхід у плануванні повинен забезпечувати наступність етапів: раціоналізацію локальних елементів організаційно-технологічної моделі (за тривалістю, інтенсивністю БМР, логістикою), потім узгодження критеріїв, а завершальним етапом — оптимізацію за інтегральним критерієм. [61, 65, 66]

Ці положення напряму трансформуються в методологію нашого дослідження тривалості будівництва в енергокризі. Відмінність лише в тому, що до класичних критеріїв (тривалість, вартість, ресурсна забезпеченість) ми додаємо показники, чутливі до нестійкості: [45, 49, 50]

- ступінь залежності робіт від електроенергії;

- уразливість критичного шляху до відключень;
- потреба у перезапуску/підготовчих операціях після простою;
- втрати продуктивності в перехідних режимах;
- варіативність технологічних маршрутів і можливість заміни процесів.

Далі, на основі системно-методологічних принципів формування календарних моделей, важливими стають принципи:

- структурний і функціонально-вартісний підхід;
- інтеграційний підхід;
- адресність при формуванні ресурсно-календарних та ОТ-моделей;
- принцип мінімальної траєкторії;
- принцип безперервності;
- варіативності;
- автоматичності.

Для нашої теми ці принципи мають дуже конкретний зміст:

- Адресність означає: для кожної критичної роботи/потоку повинні бути визначені адресні (цільові) параметри енерго- та ресурсної забезпеченості і правила переходу між режимами.

- Безперервність у сучасному розумінні означає не безперервність робіт (вона часто неможлива), а безперервність збору/систематизації інформації і внесення коректив у план за необхідності.

- Варіативність планування — основа сценарного підходу, коли календарна модель має альтернативні конфігурації, залежно від рівня енергопостачання.

- Мінімальна траєкторія — принцип раціоналізації змін: мінімізувати не лише час виконання, а й «траєкторію» організаційних перебудов (переміщення бригад, повторні підготовчі операції, логістичні перезапуски).

- Методологічне забезпечення дослідження тривалості будівництва в умовах енергокризи доцільно вибудовувати не як сукупність окремих методів, а як

узгоджену процедуру формалізованого моделювання, що забезпечує відтворюваність, доказовість і прикладну придатність результатів. Такий підхід відповідає сучасним вимогам до організаційно-технологічних досліджень у будівництві, де об’єктом наукового аналізу виступає не поодинокий процес або графік, а організаційно-технологічна система реалізації проєкту, яка функціонує у змінному ресурсному середовищі й реагує на зовнішні обмеження через механізми адаптації. [45, 46, 50, 51]

- У методологічних працях, що становлять релевантну наукову базу для формування цього розділу, зазначається, що достовірність результатів у будівельних дослідженнях забезпечується поєднанням традиційних інструментів мережевого планування з імітаційним моделюванням, сценарним підходом і системно-процесним аналізом, доповнених методами декомпозиції, мікроінжинірингу та морфологічного аналізу. Такий набір методів розглядається як необхідний саме тоді, коли предмет дослідження має виражений динамічний характер, а система — здатність змінювати структуру та параметри під дією обмежень.

- Для задачі визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи методологічна рамка конкретизується як послідовність взаємопов’язаних етапів, кожний з яких має самостійне наукове значення та одночасно забезпечує перехід до наступного етапу — від постановки задачі та формалізації структури робіт до сценарного аналізу, оптимізації й валідації результатів.

По-перше, вихідною позицією методології є системне окреслення об’єкта й предмета моделювання. Йдеться про те, що тривалість будівництва розглядається не як арифметична сума тривалостей операцій, а як інтегральний параметр функціонування системи «роботи–ресурси–обмеження–управлінські впливи». У цій системі енергетичні обмеження виступають не «фоновою» умовою, а одним із ключових факторів, що визначають можливість виконання робіт у часі. Тому до опису системи мають бути включені: перелік робіт і їх технологічні зв’язки; склад і властивості ресурсів; критичні обмеження (ресурсні

та енергетичні); правила переходу між режимами виконання (нормальний режим, часткове виконання, вимушене згортання, відновлення). З позицій загальної теорії систем такий спосіб постановки дозволяє коректно описати еволюцію системи в зовнішньому середовищі та забезпечити сумісність моделі з подальшими оптимізаційними процедурами. [45, 49, 50]

По-друге, методологія передбачає побудову формалізованої організаційно-технологічної моделі, яка виконує функцію «каркасу» для відображення процесу будівництва. В якості базових інструментів доцільно використовувати мережеві організаційно-технологічні моделі типу «роботи-дуги» та «роботи-вершини» як найбільш поширені й методично відпрацьовані для будівельної галузі. Вони забезпечують достатню наочність структури робіт, відтворюють складні взаємозалежності та дозволяють інтегрувати часові й ресурсні обмеження як на рівні окремих робіт, так і на рівні стадій/фаз проєкту. [47, 48, 50]

Водночас, для умов енергокризи класична мережна модель потребує цілеспрямованого розвитку: її параметричний простір повинен включати не лише нормативну тривалість робіт, але й ознаки енергозалежності, допустимі режими виконання (залежно від доступності енергопостачання), а також часові втрати, пов’язані з переходами між режимами. Саме ці елементи є принципово важливими для коректного врахування явищ неритмічності та згортання/розгортання потоків, які у ваших авторських публікаціях 2023 року розглянуті як фактори, що обумовлюють перерозподіл невикористаного трудового ресурсу та зміну організаційно-технологічної структури робіт у неритмічних режимах. Таким чином, мережна модель у межах цього дослідження виконує не лише планово-календарну, а й аналітичну функцію: вона стає основою для формалізації адаптаційних механізмів будівельного процесу. [47, 48, 49]

По-третє, наступним етапом є ресурсно-календарне моделювання, яке переводить мережну структуру з площини «зв’язків робіт» у площину «зв’язків робіт і ресурсів». У методологічних джерелах акцентується, що формування змісту наукових результатів має спиратися на універсальний інструментарій

прийняття рішень, де ресурсно-календарне планування виступає одним із базових методів поряд із системним/процесним аналізом та оптимізаційними моделями. [47, 48, 49]

Для задачі визначення тривалості будівництва в енергокризі ресурсно-календарний рівень має вирішальне значення, оскільки саме на цьому рівні можна коректно описати: (1) дефіцит або нерівномірність трудових ресурсів; (2) обмеження доступності механізмів; (3) матеріально-логістичні розриви; (4) енергетичні «вікна», що обмежують можливість виконання енергоємних робіт. Тут стає можливим перейти від спрощеного "вирівнювання ресурсів" до науково обґрунтованого аналізу того, як система перерозподіляє ресурс у часі, які наслідки мають простої і якою є «ціна» відновлення робіт.

По-четверте, методологічна рамка повинна містити сценарний та імітаційний блок, який є адекватною відповіддю на мінливість ресурсного середовища. У наданих матеріалах імітаційне моделювання та сценарний підхід прямо визначено як інструменти, що забезпечують адаптацію моделей до потреб моделювання підготовки і здійснення будівництва в контексті енергокризи саме сценарність дозволяє перейти від «одного графіка» до набору керованих альтернатив, які відрізняються параметрами енергодоступності та ресурсної забезпеченості. Методично важливо, що сценарії мають відображати не тільки зовнішні умови (частота та тривалість відключень), але й внутрішні реакції системи: рішення щодо згортання потоків; правила перерозподілу бригад; зміни фронтів робіт; переключення технологічних маршрутів; використання автономних джерел живлення тощо. Відтак, імітаційна частина моделі не дублює мережевий графік, а задає механізм «прогону» системи через множину ситуацій і дозволяє оцінити стійкість календарної програми. [49, 50, 51, 52]

Саме у цьому блоці методології природним чином інтегруються результати проведених досліджень, зокрема: дослідження згортання потоків і перерозподілу невикористаного трудового ресурсу, а також подальші роботи, присвячені теоретико-прикладному інструментарію оптимізації інвестиційно-будівельних проєктів, цифровізації процесів та оптимізації організаційно-технологічних

рішень в умовах енергокризи (зокрема для проєктів реконструкції й відбудови). Методологічно це означає, що «пауза/простій» у моделі трактується не як випадковий збій, а як регулярний режим, який має формалізовані наслідки для тривалості й ресурсоємності.

По-п’яте, важливим компонентом методології є оптимізаційний блок, у межах якого тривалість розглядається як цільова функція або частина інтегрального критерію. Методичні підходи вказують на необхідність застосування моделей одно- та багатокритеріальної оптимізації, а також процедур узгодження критеріїв у межах інтегральної оцінки.

Для даного дослідження принципово важливо, що оптимізація тривалості в умовах енергокризи не може бути зведена до прямої мінімізації календарного строку «будь-якою ціною». Коректною є постановка, у якій мінімізація тривалості здійснюється за умов збереження допустимих рівнів ресурсної керованості, технологічної здійсненності та організаційної стійкості. Тому доцільно використовувати багатокритеріальні моделі, які дозволяють знаходити компромісні рішення між тривалістю, ресурсними обмеженнями, рівнем ризику зупинок та величиною втрат на відновлення процесів. На цьому етапі наукова новизна майбутнього розділу 3 (авторський інструментарій) отримує методологічну основу: інструментарій має бути здатним не лише розраховувати тривалість, а й формувати оптимальні організаційно-технологічні стратегії в нестійкому середовищі. [45, 46, 50]

По-шосте, завершальним етапом методологічної процедури є організаційно-технологічна діагностика та валідація, тобто перевірка адекватності моделі й обґрунтованості отриманих параметрів на основі фактичних даних, експертних оцінок та результатів впровадження. У методологічних матеріалах підкреслюється, що впровадження розглядається як великомасштабний виробничий експеримент, який дозволяє оцінити ефективність прийнятих рішень та коректність методологічних положень. [50, 51, 52]

Для теми визначення тривалості в умовах енергокризи це положення має особливу вагу: адекватність моделі проявляється не у «красивому графіку», а в тому, що запропонований інструментарій здатний відтворювати реальну поведінку системи при зупинках, відновленнях, перерозподілі ресурсів і зміні режимів робіт. Саме тому методологія повинна передбачати механізм поетапного уточнення параметрів за результатами практичного застосування, включно з корекцією коефіцієнтів втрат на згортання/розгортання та оцінкою ефекту перерозподілу трудового ресурсу.

Окремо слід підкреслити роль цифрових інструментів, які у сучасних підходах розглядаються не як допоміжна візуалізація, а як середовище формалізованого узгодження робіт, етапів і стадій проєкту та інструмент підтримки прийняття рішень. У наукових джерелах наголошено, що BIM-технології не слід трактувати лише як засіб демонстрації ходу будівництва; їх доцільно інтегрувати у методологію як основу оновлення інструментарію підготовки й організації будівництва, поєднуючи BIM із формалізованими моделями та методами моделювання процесів. [47, 48, 49, 50, 51, 52]

У межах даного дослідження цифровий компонент методології інтерпретується як практичний шлях реалізації принципів варіативності, безперервності уточнення планів та інтеграції даних про ресурси й обмеження. Це положення узгоджується і з результатами проведених досліджень, де цифровізація розглядається як засіб оптимізації будівельного процесу в умовах нестабільного ресурсного забезпечення та як інструмент підвищення керованості проєктів відбудови.

Принципово важливим для даного дослідження є методологічне трактування згортання та повторного розгортання будівельних потоків не як допоміжного або виняткового явища, а як повноцінного стану організаційно-технологічної системи, який має бути формалізований у моделі тривалості будівництва. У традиційних підходах згортання робіт зазвичай розглядається як аварійна ситуація або наслідок управлінських помилок, що виходить за межі нормативного планування. Проте умови енергокризи та нестійкого ресурсного

забезпечення зумовлюють регулярну повторюваність таких станів, що потребує їх методологічного осмислення та кількісного опису.

У цьому контексті результати досліджень мають принципове значення, оскільки в них згортання потоків розглядається як фактор, що безпосередньо впливає на перерозподіл невикористаного трудового ресурсу в неритмічних роботах, а також на зміну організаційної структури будівельного процесу без залучення додаткових ресурсів. З методологічної точки зору це означає, що згортання потоків слід інтерпретувати не як «паузу», а як перехід системи в альтернативний режим функціонування, у якому змінюються правила використання ресурсів, інтенсивність робіт і логіка календарних зв'язків.

Формалізація такого підходу передбачає, що в моделі тривалості будівництва мають бути описані щонайменше три принципово різні режими функціонування системи: режим нормального виконання робіт, режим часткового виконання (за обмеженої доступності енергоресурсів або інших критичних ресурсів) та режим згортання з подальшим відновленням. Кожен із цих режимів характеризується власними параметрами продуктивності, витрат часу на підготовчо-завершальні операції, а також специфічними втратами, пов'язаними з порушенням ритмічності. Саме такий підхід дозволяє перейти від абстрактного уявлення про простої до кількісного аналізу їх впливу на загальну тривалість будівництва. [61, 63, 65, 66]

З методологічної позиції важливо, що період згортання потоків не є «втраченим часом» у прямому розумінні. Як доведено дослідженнями, навіть за умов припинення виконання окремих видів робіт можливий перерозподіл трудових ресурсів на інші процеси або підготовчі операції, що знижує сумарні втрати тривалості. Це означає, що модель повинна враховувати потенціал внутрішньої адаптації системи, а не лише фіксувати негативний ефект зупинок. Методологічно такий підхід узгоджується з положеннями системного аналізу, де поведінка системи визначається не тільки зовнішніми обмеженнями, а й внутрішніми механізмами компенсації. [50, 51, 52]

Подальший розвиток методології нашого дослідження пов’язаний із переходом від опису окремих станів до аналізу траєкторії розвитку організаційно-технологічної системи у часі. Тривалість будівництва в такій постановці розглядається як результат проходження системою послідовності станів, кожен з яких має власні часові та ресурсні характеристики. Зміна станів відбувається під впливом зовнішніх факторів (зміни режимів енергопостачання, логістичні обмеження, дефіцит персоналу) та управлінських рішень (згортання потоків, перепланування робіт, зміна черговості виконання процесів). Методологічно це означає, що замість статичного календарного плану формується динамічна модель тривалості, здатна відображати реальну поведінку будівельного процесу. [50, 51, 52]

У цьому аспекті особливого значення набуває сценарний підхід, який дозволяє дослідити, як змінюється тривалість будівництва залежно від різних конфігурацій зовнішніх умов і управлінських рішень. На відміну від спрощеного сценарного аналізу, де розглядаються лише альтернативні графіки, у межах даного дослідження сценарії трактуються як комбінації режимів функціонування системи, що включають варіанти згортання потоків, різні схеми перерозподілу ресурсів і альтернативні організаційно-технологічні рішення. Саме такий підхід забезпечує методологічну основу для переходу від прогнозування строків до управління ними. [45, 46, 52]

Важливо підкреслити, що сценарний аналіз у даному дослідженні не має суто описового характеру. Його функція полягає у виявленні чутливості тривалості будівництва до змін ключових параметрів, насамперед параметрів енергозабезпечення та організації потоків. Це дозволяє ідентифікувати критичні елементи системи, вплив яких на загальну тривалість є визначальним, а також оцінити ефективність різних організаційно-технологічних стратегій в умовах обмежених ресурсів. Такий підхід безпосередньо корелює з вашими публікаціями 2024–2025 років, у яких оптимізація тривалості розглядається як результат вибору стратегії управління проєктом, а не як наслідок локального прискорення окремих робіт.

Методологічна доцільність використання імітаційного моделювання у складі системотехнічного підходу зумовлена також необхідністю врахування нелінійних ефектів, що виникають при повторюваних перервах і відновленні робіт. У реальних умовах будівельного виробництва втрати часу на кожному наступному циклі згортання/розгортання можуть зростати або, навпаки, зменшуватися залежно від рівня адаптації організаційної системи, досвіду персоналу, ступеня стандартизації процесів. Такі ефекти складно описати аналітично, проте вони можуть бути відтворені в імітаційній моделі через зміну параметрів продуктивності та підготовчо-завершальних витрат. Методологічно це підсилює аргумент на користь використання імітаційних процедур як необхідного елемента інструментарію визначення тривалості. [45, 46, 52]

У контексті формування науково-прикладного інструментарію особливе значення має питання узгодження локальних і глобальних рішень. Локальна оптимізація тривалості окремих робіт або потоків не завжди призводить до скорочення загальної тривалості будівництва, особливо в умовах обмеженого енергозабезпечення. Методологія, викладена у п. 2.3, передбачає аналіз тривалості на різних ієрархічних рівнях: рівні окремих процесів, рівні потоків, рівні етапів і рівні проєкту в цілому. Це дозволяє перейти від фрагментарних рішень до інтегральної оцінки ефективності організаційно-технологічної стратегії.

Саме на цьому рівні методологічно обґрунтовується використання багатокритеріальних підходів до оптимізації. Умови енергокризи вимагають знаходження компромісу між тривалістю, рівнем використання ресурсів, стійкістю календарного плану та допустимим рівнем ризику зупинок. Методологія не нав’язує єдиного оптимального рішення, а створює інструмент для порівняльної оцінки альтернатив, що є більш коректним підходом у нестійкому середовищі. Такий підхід повністю узгоджується з теоретико-прикладним характером ваших публікацій, де оптимізація розглядається як процес вибору, а не як пошук абстрактного мінімуму.

Окремого методологічного осмислення потребує питання цифрової реалізації запропонованого підходу. У межах п. 2.3 цифрові інструменти розглядаються не як самостійна методологія, а як середовище реалізації формалізованих моделей і процедур. Зокрема, використання 4D-BIM дозволяє інтегрувати часові параметри в інформаційну модель об’єкта та забезпечити наочне відображення сценаріїв виконання робіт у різних режимах енергозабезпечення. Методологічно важливо, що цифрова модель в такій постановці слугує не лише засобом візуалізації, а й інструментом перевірки логічної узгодженості рішень, виявлення конфліктів і оцінки наслідків управлінських впливів. [45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52]

Узагальнюючи викладене, можна констатувати, що системотехнічне та формалізоване моделювання тривалості будівництва в умовах енергокризи повинно ґрунтуватися на поєднанні мережевих, ресурсно-календарних, сценарних і імітаційних методів, інтегрованих у єдину методологічну процедуру. Особливість цієї процедури полягає у формалізації неритмічності, згортання потоків і перерозподілу ресурсів як регулярних станів системи, що дозволяє адекватно відобразити реальні умови функціонування будівельного виробництва. Саме така методологія створює наукове підґрунтя для розробки авторського інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва, який буде представлено у наступних підрозділах розділу 2 та детально розкрито у розділі 3 дисертаційної роботи.

2.4 Методологічні засади врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення при визначенні тривалості будівництва

У сучасних умовах розвитку будівельної галузі проблема визначення тривалості будівництва дедалі більше виходить за межі суто технологічного планування та набуває ознак комплексної методологічної задачі, тісно пов’язаної з нестійкістю ресурсного середовища. Особливе місце серед таких факторів посідає енергетичне забезпечення, яке в умовах енергокризи перестає бути гарантованою умовою реалізації будівельного процесу і трансформується в

обмежувальний чинник, що безпосередньо впливає на організаційно-технологічні рішення та календарні параметри проєкту. [24, 25, 37, 39, 45]

Традиційні підходи до організації будівництва формувалися за припущення відносної стабільності ресурсного забезпечення, коли енергія, трудові ресурси, матеріали та техніка вважалися доступними у необхідних обсягах і в потрібний час. За таких умов тривалість будівництва визначалася передусім технологічною послідовністю робіт, рівнем потоковості та ефективністю використання трудових і технічних ресурсів. Проте сучасні умови реалізації інвестиційно-будівельних проєктів характеризуються системною нестійкістю ресурсного середовища, що потребує принципово іншого методологічного підходу до визначення та управління тривалістю. [13, 14, 16, 17, 49]

Методологічна складність врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення полягає в тому, що ці фактори мають дискретний, змінний і часто неконтрольований характер. На відміну від класичних ресурсних обмежень, які можуть бути враховані через нормування або резервування, енергетичні обмеження проявляються у вигляді непередбачуваних перерв, зниження потужності або необхідності переходу на альтернативні джерела живлення. У таких умовах час перестає бути безперервною величиною, а набуває властивостей ресурсу, доступність якого змінюється у часі. [24, 25, 27, 29, 108, 109]

З методологічної точки зору це означає, що тривалість будівництва повинна розглядатися не лише як результат організації технологічних процесів, а як функція режимів доступності ресурсів, насамперед енергетичних. Такий підхід узгоджується з положеннями системного аналізу, згідно з якими поведінка складної виробничої системи визначається не тільки її внутрішньою структурою, а й характеристиками середовища, у якому вона функціонує. У випадку будівництва це середовище формує обмеження, які безпосередньо впливають на можливість реалізації запланованих робіт. [24, 108, 109]

У працях вітчизняних учених з організації та управління будівництвом неодноразово підкреслювалося, що ефективність організаційно-технологічних

рішень значною мірою залежить від стабільності ресурсного забезпечення. Разом із тим більшість класичних моделей орієнтована на умовно стабільне середовище і не передбачає формалізованого опису ситуацій, коли ресурси стають доступними лише частково або періодично. Саме ця методологічна прогалина виявляється критичною в умовах енергокризи та обумовлює необхідність розвитку відповідного інструментарію. [13, 14, 15, 16, 17]

У межах даного дослідження нестійке ресурсне та енергетичне забезпечення розглядається як невід'ємна характеристика сучасного будівельного процесу, а не як тимчасове відхилення від нормативних умов. Така постановка питання дозволяє перейти від реактивного управління (усунення наслідків зупинок) до проактивного формування організаційно-технологічних рішень, адаптованих до змінних умов функціонування. Методологічно це означає включення нестійкості ресурсного забезпечення до базових параметрів моделі тривалості будівництва. [45, 46, 49, 50]

Важливим аспектом методології є розмежування понять ресурсної нестійкості та ресурсного дефіциту. Якщо дефіцит ресурсів може бути частково компенсований шляхом їх залучення з альтернативних джерел або перерозподілу, то нестійкість характеризується непередбачуваністю та змінністю доступності, що не завжди піддається управлінському впливу. У цьому сенсі енергетичні обмеження є типовим прикладом нестійкості, оскільки вони можуть виникати незалежно від дій учасників проєкту і мати різну тривалість та інтенсивність. [24, 37, 39, 49]

Методологічний підхід до врахування таких умов повинен ґрунтуватися на адаптивності організаційно-технологічних рішень. Адаптивність у даному контексті означає здатність системи змінювати параметри виконання робіт, структуру потоків і розподіл ресурсів без втрати керованості та з мінімальними втратами часу. Саме цю властивість будівельного процесу доцільно вважати ключовою при формуванні інструментарію визначення тривалості в умовах енергокризи. [45, 46, 49, 50, 51]

У наших авторських дослідженнях 2023–2025 років показано, що одним із ефективних механізмів адаптації є згортання та повторне розгортання будівельних потоків із перерозподілом трудових ресурсів між видами робіт. Методологічна цінність цих результатів полягає в тому, що згортання потоків розглядається не як суто негативне явище, а як керований організаційний інструмент, що дозволяє знизити втрати тривалості за умов обмеженої доступності енергоресурсів. Відповідно, у межах цього дослідження згортання потоків включається до методологічної схеми як один із можливих режимів функціонування системи. [47, 48, 49, 50, 52]

Подальший розвиток методології врахування нестійкого ресурсного забезпечення пов’язаний із необхідністю формалізації впливу енергетичних обмежень на різні групи робіт. Не всі будівельні процеси однаковою мірою залежать від енергопостачання; частина з них може виконуватися в умовах обмеженої потужності або із застосуванням автономних рішень, тоді як інші є критично енергоємними. З методологічної точки зору це означає, що в моделі тривалості мають бути виділені класи робіт за ступенем енергозалежності, що дозволяє більш точно оцінити наслідки відключень і сформувати альтернативні організаційні рішення. [49, 50, 51]

Урахування енергетичної нестійкості також вимагає перегляду підходів до визначення критичного шляху. У класичному мережевому плануванні критичний шлях визначається виходячи з технологічних залежностей і нормативних тривалостей. Проте в умовах змінної доступності енергії критичність окремих робіт може змінюватися залежно від режиму функціонування системи. Це обумовлює необхідність переходу до поняття динамічного критичного шляху, який формується з урахуванням сценаріїв енергозабезпечення та організаційних рішень щодо згортання або перенесення робіт. [24, 25, 45, 49]

З методологічної позиції важливо підкреслити, що врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення не зводиться до введення коригувальних коефіцієнтів або запасів часу. Такий підхід може мати обмежену ефективність у стабільних умовах, але в умовах системної нестійкості він

призводить до надмірного завищення строків або, навпаки, до втрати керованості проєктом. Натомість у даному дослідженні пропонується розглядати нестійкість як структурну характеристику системи, що має бути безпосередньо відображена у моделі тривалості. [45, 46, 49, 50]

Отже, методологічні засади врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення полягають у переході від статичних моделей планування до динамічних, адаптивних моделей, які здатні відображати зміну режимів функціонування будівельного процесу у часі. Саме такий підхід створює наукову основу для подальшого формування наукової проблеми та розробки авторського інструментарію визначення й оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи, що ми розкриємо у наступних підрозділах розділу 2.

Подальше поглиблення методологічних засад врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення потребує уточнення самого поняття керованості тривалості будівництва в умовах обмежень. У класичних підходах керованість строків ототожнюється з можливістю впливу на календарний план через зміну інтенсивності робіт, перерозподіл ресурсів або коригування технологічної послідовності. Однак за умов енергетичної нестабільності така логіка виявляється недостатньою, оскільки значна частина обмежень перебуває поза прямим контролем учасників будівельного процесу. У цьому випадку керованість слід трактувати не як здатність уникнути відхилень, а як здатність системи адекватно реагувати на них, зберігаючи прогнозованість загальної тривалості. [47, 48, 50]

З методологічної точки зору це означає, що тривалість будівництва має визначатися не одним значенням, а діапазоном допустимих значень, пов’язаних із різними сценаріями ресурсного та енергетичного забезпечення. Такий підхід дозволяє перейти від ілюзії точного прогнозування до більш коректного управління невизначеністю. У межах цього дослідження тривалість розглядається як параметр, чутливий до змін середовища, але водночас обмежений організаційно-технологічними можливостями системи. Методологічно це наближає підхід до концепції «робастного планування», коли

рішення оцінюються за здатністю зберігати прийнятні характеристики за різних умов. [45, 46, 47, 48, 49, 50, 51]

Важливим елементом методології є формування ресурсно-енергетичного профілю будівельного проєкту, який відображає залежність основних робіт і потоків від рівня доступності енергоресурсів. Такий профіль не є статичним і формується з урахуванням технологічних особливостей процесів, застосовуваних машин і механізмів, а також можливості використання альтернативних або резервних джерел енергії. З позицій методології організації будівництва це означає необхідність переходу від універсальних нормативних характеристик до диференційованих параметрів, що дозволяють врахувати різну чутливість процесів до енергетичних обмежень. **[45, 50, 51]**

У практичному вимірі формування ресурсно-енергетичного профілю створює підґрунтя для прийняття управлінських рішень щодо черговості виконання робіт, формування фронтів і вибору організаційно-технологічних схем. Методологічно це дозволяє інтегрувати енергетичний чинник у календарні та організаційно-технологічні моделі не у вигляді зовнішнього «шоку», а як одного з базових параметрів планування. Саме така інтеграція є принципово важливою для переходу до адаптивних моделей тривалості будівництва.

Наступним методологічним аспектом є врахування часових втрат, пов’язаних із переходами між режимами енергозабезпечення. У класичних моделях тривалість робіт визначається на основі безперервного виконання процесів. Проте в умовах енергокризи реальний будівельний процес часто характеризується чергуванням активних фаз і вимушених перерв. Методологічна складність полягає в тому, що такі перерви мають не лише прямий часовий ефект, але й опосередкований — через втрати продуктивності, необхідність повторних підготовчих операцій, зміну ритму роботи бригад і механізмів. [45, 46, 52]

У публікаціях показано, що ігнорування цих втрат призводить до систематичного заниження прогнозної тривалості та зростання розриву між плановими і фактичними строками. Тому в межах цього дослідження методологічно обґрунтовується необхідність формалізації перехідних втрат як

окремої складової тривалості. Такий підхід дозволяє не лише точніше оцінювати загальну тривалість, а й аналізувати ефективність різних організаційних стратегій з точки зору мінімізації втрат при згортанні та відновленні потоків.

Особливе місце в методології займає питання перерозподілу трудових ресурсів у періоди обмеженої доступності енергії. Традиційно трудові ресурси розглядаються як фактор, який підлягає вирівнюванню з метою забезпечення ритмічності робіт. Проте в умовах енергетичної нестійкості виникає потреба в більш гнучких підходах, коли частина трудових ресурсів тимчасово переводиться на альтернативні види робіт, підготовчі операції або допоміжні процеси. Методологічна цінність такого підходу полягає в тому, що він дозволяє зменшити сумарні втрати тривалості без залучення додаткового персоналу, що особливо важливо в умовах обмеженого ринку праці.

У межах даного дослідження перерозподіл трудових ресурсів розглядається як керований механізм адаптації, що має бути відображений у моделі тривалості. Це означає, що календарні та організаційно-технологічні рішення повинні передбачати можливість зміни складу бригад, послідовності виконання робіт і використання резервів часу залежно від поточного режиму енергозабезпечення. Така методологія безпосередньо випливає з результатів ваших досліджень щодо впливу періоду згортання потоків на перерозподіл невикористаного трудового ресурсу і формує міст між теоретичним аналізом та прикладними рішеннями.

Важливим методологічним завданням є також узгодження рішень різних ієрархічних рівнів управління. Нестійкість ресурсного забезпечення може по-різному впливати на окремі роботи, потоки, етапи та проєкт у цілому. Тому врахування енергетичних обмежень на локальному рівні (окрема робота або ділянка) не гарантує оптимального результату на рівні проєкту. Методологія, що пропонується у цьому дослідженні, передбачає аналіз впливу енергетичної нестійкості на тривалість на всіх рівнях ієрархії з подальшим узгодженням рішень за інтегральними критеріями.

З цієї позиції особливого значення набуває поняття стійкості календарної програми, яке у межах даного дослідження трактується як здатність програми зберігати прогнозовані часові параметри за умов зміни ресурсних обмежень. Методологічно стійкість не є тотожною мінімальній тривалості; навпаки, у деяких випадках незначне збільшення планової тривалості може призвести до суттєвого підвищення стійкості й зменшення ризику критичних зривів строків. Такий підхід відповідає сучасним уявленням про управління складними проєктами в умовах невизначеності. [45, 46, 49, 50, 51, 52]

Подальший розвиток методології врахування нестійкого ресурсного забезпечення логічно пов’язаний із формуванням інтегральних показників, які дозволяють кількісно оцінити вплив енергетичних обмежень на тривалість будівництва. До таких показників можуть належати індекси енергетичної залежності робіт, коефіцієнти втрат часу при переході між режимами, показники варіативності критичного шляху та інші параметри, що характеризують чутливість календарної програми до зовнішніх впливів. Методологічно важливо, що ці показники не замінюють календарну тривалість, а доповнюють її, формуючи більш повну картину функціонування системи.

У цьому контексті доцільно наголосити, що методологічні засади врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення створюють безпосередній зв’язок між аналітичними моделями та практикою управління будівельними проєктами. Запропонований підхід дозволяє перейти від реактивного коригування графіків до превентивного формування організаційно-технологічних стратегій, адаптованих до можливих сценаріїв розвитку подій. Саме ця властивість методології є визначальною для подальшого формування наукової проблеми та розробки авторського науково-прикладного інструментарію, який у наступних підрозділах буде розглянуто як логічне продовження теоретико-методологічних положень розділу 2.

Узагальнюючи викладені положення, доцільно зазначити, що методологічні засади врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення при визначенні тривалості будівництва формують принципово

інший підхід до аналізу й управління строками реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. На відміну від традиційних моделей, орієнтованих на умовно стабільне середовище, запропонований методологічний підхід виходить із того, що нестійкість ресурсного забезпечення є системною характеристикою сучасного будівельного виробництва, яка має бути безпосередньо відображена в організаційно-технологічних і календарних моделях. [45, 46, 49, 50, 51, 52]

Методологічна новизна такого підходу полягає у відмові від трактування енергетичних обмежень як зовнішніх, випадкових факторів і переході до їх інтерпретації як параметрів функціонування системи, що змінюються у часі та впливають на структуру потоків, режим виконання робіт і механізми перерозподілу ресурсів. У цьому контексті тривалість будівництва перестає бути фіксованим нормативним показником і набуває ознак адаптивного параметра, чутливого до умов середовища та управлінських рішень.

Важливим методологічним результатом є обґрунтування необхідності переходу від статичних календарних моделей до динамічних, сценарно-орієнтованих моделей, які дозволяють враховувати зміну режимів енергозабезпечення, періоди згортання та відновлення потоків, а також пов’язані з цим втрати часу й продуктивності. Такий підхід створює передумови для формування реалістичних прогнозів тривалості та підвищує стійкість календарних програм у нестабільних умовах.

Методологічно значущим є також положення про інтеграцію енергетичного чинника у ресурсно-календарне та організаційно-технологічне планування. Запропонований підхід дозволяє не лише фіксувати наявність обмежень, а й аналізувати їх вплив на різні рівні організації будівельного процесу — від окремих робіт і потоків до етапів і проєкту в цілому. Це, у свою чергу, забезпечує узгодження локальних і глобальних рішень та створює основу для багатокритеріальної оцінки ефективності організаційно-технологічних стратегій. **[50, 51, 52]**

Особливе значення в межах п. 2.4 має методологічне обґрунтування керованого згортання та повторного розгортання будівельних потоків як

інструменту адаптації до нестійкого енергетичного забезпечення. Розгляд згортання потоків як регулярного режиму функціонування системи, а не як виняткової ситуації, дозволяє кількісно оцінювати його вплив на тривалість будівництва та використовувати перерозподіл трудових ресурсів для мінімізації втрат часу. Це положення безпосередньо спирається на результати авторських досліджень і формує важливу складову методологічної бази подальших розробок.

У підсумку можна констатувати, що методологічні засади врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення створюють цілісну наукову основу для переосмислення підходів до визначення та управління тривалістю будівництва. Запропонований методологічний підхід забезпечує можливість переходу від реактивного коригування строків до проактивного формування організаційно-технологічних рішень, адаптованих до змінних умов реалізації проєктів. **[45, 51, 52]**

Отримані методологічні положення є необхідним підґрунтям для подальшого формування наукової проблеми та предмету дослідження, а також для обґрунтування вибору науково-прикладного інструментарію, який буде розроблено у наступних підрозділах розділу 2 і деталізовано в розділі 3 дисертаційної роботи.

2.5 Формування наукової проблеми та предмету дослідження в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення

Формування наукової проблеми у сфері організації та управління будівництвом є завершальним етапом теоретико-методологічного аналізу та водночас вихідною точкою для розроблення науково-прикладного інструментарію. У межах даного дослідження наукова проблема не зводиться до окремого недоліку існуючих методів або моделей, а постає як системна невідповідність між сучасними умовами реалізації будівельних проєктів та наявним методологічним апаратом визначення тривалості будівництва. [49, 50, 51, 52]

Проведений у розділах 2.1–2.4 аналіз дозволив встановити, що більшість традиційних підходів до визначення та управління тривалістю будівництва формувалися в умовах відносної стабільності ресурсного середовища. За таких умов енергетичне забезпечення, як правило, не розглядалося як критичний фактор, а часові параметри будівництва визначалися переважно технологічною логікою виконання робіт, рівнем потоковості та ефективністю використання трудових і технічних ресурсів. У сучасних умовах ця методологічна парадигма виявляється недостатньою, оскільки не дозволяє адекватно врахувати системну нестійкість ресурсного та енергетичного забезпечення.

Наукова проблема даного дослідження полягає в тому, що існуючі методи визначення тривалості будівництва не забезпечують достовірного прогнозування та ефективного управління строками реалізації проєктів в умовах енергокризи, коли доступність енергетичних ресурсів є змінною, дискретною та частково некерованою. У результаті між плановими та фактичними строками будівництва формується стійкий розрив, який не може бути усунений шляхом простого коригування календарних графіків або введення резервів часу.

Методологічна сутність цієї проблеми полягає у відсутності формалізованого інструментарію, здатного відобразити динамічну взаємодію організаційно-технологічних рішень із режимами доступності ресурсів, зокрема енергетичних. У більшості наявних моделей енергетичні обмеження враховуються опосередковано або ігноруються, що призводить до спрощеного уявлення про реальний характер будівельного процесу в кризових умовах. Як наслідок, управлінські рішення приймаються на основі моделей, які не відображають реальної поведінки системи. [45, 46, 49, 50, 51, 52]

Особливої актуальності наукова проблема набуває в контексті реконструкції та відбудови об’єктів, де скорочення тривалості будівництва має не лише економічне, а й соціальне та безпекове значення. У таких умовах помилки у визначенні строків можуть мати масштабні негативні наслідки, що підсилює вимоги до наукової обґрунтованості методів планування та управління.

У межах сформульованої проблеми важливим є розмежування об’єктивних обмежень, зумовлених енергетичною нестабільністю, та управлінських резервів, пов’язаних з організаційно-технологічними рішеннями. Саме це розмежування дозволяє перейти від фаталістичного сприйняття енергокризи як зовнішнього чинника до пошуку інструментів активного управління тривалістю будівництва. У цьому сенсі результати авторських досліджень, присвячених згортанню потоків, перерозподілу трудових ресурсів і оптимізації без залучення додаткових ресурсів, підтверджують наявність внутрішніх резервів системи, які можуть бути використані за умови належної методологічної формалізації. [45, 52, 67, 68, 69]

Отже, наукова проблема даного дослідження формулюється як необхідність розроблення такого науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва, який би забезпечував адекватне врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення, а також дозволяв формувати адаптивні організаційно-технологічні рішення в умовах енергокризи.

У межах цієї проблеми конкретизується предмет дослідження, який визначає фокус наукового аналізу та межі розроблюваного інструментарію. Предметом дослідження є методи, моделі та організаційно-технологічні механізми визначення й оптимізації тривалості будівництва з урахуванням змінних режимів ресурсного та енергетичного забезпечення. Така постановка предмету дозволяє зосередити увагу не на загальних аспектах управління проєктами, а саме на часових параметрах як інтегральному результаті функціонування системи. [67, 68, 69]

Важливо підкреслити, що предмет дослідження охоплює не лише методи розрахунку тривалості, а й процедури формування організаційно-технологічних рішень, які визначають поведінку системи в умовах обмежень. Це включає механізми згортання та розгортання потоків, перерозподіл трудових ресурсів, зміну послідовності виконання робіт, а також використання сценарних і імітаційних моделей для аналізу альтернативних варіантів розвитку подій.

Такий підхід дозволяє розглядати тривалість будівництва як керований параметр, формування якого залежить від вибору стратегії організації робіт, а не

як фіксовану величину, що задається нормативами. У цьому полягає принципова відмінність предмету даного дослідження від традиційних робіт, у яких тривалість розглядається переважно в межах календарного планування без глибокого аналізу впливу зовнішніх обмежень. [45, 52, 67]

Формування предмету дослідження також передбачає визначення меж застосування розроблюваного інструментарію. У межах дисертаційної роботи основна увага приділяється інвестиційно-будівельним проєктам промислового та цивільного призначення, зокрема проєктам реконструкції та відбудови, для яких характерна висока енергоємність процесів і підвищена чутливість до нестабільності ресурсного забезпечення. Водночас методологічні положення мають універсальний характер і можуть бути адаптовані до інших типів проєктів.

Таким чином, наукова проблема сформульована як системна невідповідність між умовами реалізації будівельних проєктів в енергокризі та існуючим інструментарієм визначення тривалості, а предмет дослідження окреслює методи та механізми подолання цієї невідповідності. Саме ця постановка проблеми та предмету створює логічну й методологічну основу для переходу до розроблення авторського науково-прикладного інструментарію, який буде представлено у розділі 3 дисертаційної роботи.

2.6 Обґрунтування вибору науково-прикладного інструментарію та методів дослідження

Вибір науково-прикладного інструментарію та методів дослідження у дисертаційній роботі з організації та управління будівництвом має ґрунтуватися не лише на формальній відповідності темі дослідження, а й на здатності обраних методів адекватно відображати реальні умови функціонування будівельного процесу. У межах даної роботи така вимога набуває особливої ваги, оскільки предметом дослідження є визначення та оптимізація тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення, що характеризуються високим рівнем невизначеності та мінливості зовнішнього середовища. [45, 46, 49, 50, 51, 52]

Проведений у попередніх підрозділах аналіз дозволив встановити, що традиційний методичний апарат, який базується переважно на нормативних розрахунках і статичних календарних моделях, не забезпечує необхідного рівня достовірності при прогнозуванні строків реалізації проєктів у кризових умовах. Водночас застосування виключно загальноуправлінських методів без урахування організаційно-технологічної специфіки будівельного виробництва призводить до спрощеного трактування тривалості як абстрактного параметра, відірваного від реальних процесів. Саме тому у даному дослідженні обґрунтовується доцільність використання комплексного науково-прикладного інструментарію, що поєднує системний аналіз, формалізоване організаційно-технологічне моделювання та методи адаптивного планування.

Методологічною основою вибору інструментарію є системний підхід, відповідно до якого будівельний процес розглядається як складна відкрита система, що функціонує у взаємодії з нестійким ресурсним середовищем. Такий підхід дозволяє перейти від аналізу окремих процесів або операцій до дослідження цілісної організаційно-технологічної структури, у межах якої тривалість формується під впливом сукупності взаємопов’язаних факторів. Системний підхід забезпечує методологічну узгодженість усіх застосовуваних методів і створює основу для інтеграції результатів у єдину модель. [49, 50, 51, 52]

Вибір формалізованих організаційно-технологічних моделей як одного з ключових інструментів дослідження зумовлений їх здатністю відображати технологічні зв’язки між роботами, послідовність виконання процесів та обмеження, що накладаються на використання ресурсів. Мережеві моделі у поєднанні з ресурсно-календарним плануванням дозволяють формалізувати часову структуру проєкту та створюють базу для подальшого аналізу впливу нестійкого енергетичного забезпечення. Водночас у межах даного дослідження ці моделі розвиваються шляхом введення параметрів, що характеризують змінні режими доступності ресурсів і можливість переходу між ними. [45, 46, 51, 52]

Застосування сценарного та імітаційного моделювання обґрунтовується необхідністю врахування динамічного характеру енергетичних обмежень. На відміну від аналітичних моделей, які, як правило, оперують фіксованими параметрами, імітаційні методи дозволяють відтворювати поведінку організаційно-технологічної системи у часі з урахуванням випадкових або напівдетермінованих змін зовнішніх умов. Саме це забезпечує можливість аналізу альтернативних сценаріїв розвитку подій та оцінки їх впливу на загальну тривалість будівництва.

Особливу роль у виборі інструментарію відіграють результати авторських досліджень, присвячених згортанню потоків, перерозподілу трудових ресурсів та оптимізації організаційно-технологічних рішень без залучення додаткових ресурсів. Ці результати доводять, що ефективне управління тривалістю можливе навіть за умов жорстких ресурсних обмежень, якщо система має достатній рівень адаптивності. Відповідно, до складу інструментарію включаються методи, які дозволяють формалізувати такі адаптивні механізми та оцінити їх вплив на календарні параметри проєкту. [51, 52]

Важливим аспектом обґрунтування вибору методів є також необхідність поєднання кількісного та якісного аналізу. Кількісні методи забезпечують можливість розрахунку тривалості, оцінки втрат часу та порівняння альтернативних варіантів. Водночас якісні методи, зокрема експертні оцінки та аналітичне узагальнення, дозволяють врахувати фактори, які складно формалізувати на ранніх етапах дослідження, але які мають суттєвий вплив на організацію будівельного процесу в умовах енергокризи. Поєднання цих методів підвищує надійність і практичну цінність отриманих результатів.

Обґрунтовуючи вибір науково-прикладного інструментарію, доцільно підкреслити, що він орієнтований не лише на дослідження існуючих процесів, а й на формування управлінських рішень, придатних для практичного використання. Саме тому до складу інструментарію включаються методи, сумісні з цифровими середовищами планування та управління будівництвом, зокрема з інформаційним моделюванням будівель (BIM) та 4D-плануванням. Це дозволяє

забезпечити зв’язок між теоретичними моделями та практикою їх застосування на реальних об’єктах. [45, 52]

У підсумку вибір науково-прикладного інструментарію та методів дослідження у даній роботі визначається необхідністю комплексного врахування організаційно-технологічних, ресурсних і енергетичних факторів, а також здатністю обраних методів відображати динаміку будівельного процесу в умовах нестійкого середовища. Запропонований інструментарій створює методологічну основу для розроблення авторського підходу до визначення та оптимізації тривалості будівництва, який буде детально викладено у розділі 3 дисертаційної роботи.

Таким чином, формування теоретико-методологічної бази дослідження, що забезпечує логічну цілісність роботи та створює безпосередній перехід до розроблення і апробації авторського науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи.

Обґрунтування вибору науково-прикладного інструментарію в межах даного дослідження базується на необхідності адекватного відображення складних, багатофакторних і динамічних процесів, що визначають тривалість будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення. На відміну від традиційних задач календарного планування, де часові параметри можуть бути визначені на основі нормативів і стабільних технологічних залежностей, в умовах енергокризи тривалість формується як результат взаємодії організаційно-технологічних рішень із мінливими зовнішніми обмеженнями. Це зумовлює необхідність використання такого інструментарію, який поєднує аналітичну строгість із достатньою гнучкістю для моделювання альтернативних сценаріїв розвитку подій. [45, 46, 49, 50, 51, 52]

Методологічною передумовою вибору інструментарію є положення про те, що жоден окремий метод не здатний вичерпно описати поведінку будівельного процесу в умовах системної нестійкості. Тому в межах даної роботи використовується комплекс методів, об’єднаних єдиною логікою системного аналізу. Такий підхід відповідає сучасним уявленням вітчизняної наукової школи

організації та управління будівництвом, згідно з якими науково-прикладні результати мають ґрунтуватися на поєднанні теоретичних положень, формалізованих моделей та практичної перевірки.

Ключовим елементом інструментарію є формалізоване організаційно-технологічне моделювання, яке забезпечує структуризацію будівельного процесу та створює основу для аналізу тривалості. Мережеві моделі, що традиційно застосовуються в будівництві, обрані як базовий каркас моделювання, оскільки вони дозволяють відобразити технологічні зв’язки між роботами, визначити критичні залежності та встановити початкові часові параметри. Водночас у межах даного дослідження мережеві моделі не використовуються в їх класичному вигляді, а зазнають методологічного розвитку шляхом включення параметрів, що характеризують змінні режими доступності ресурсів та енергопостачання.

Обґрунтування такого розвитку мережевих моделей ґрунтується на результатах попередніх підрозділів, де показано, що в умовах енергетичної нестабільності критичність робіт не є сталою величиною, а може змінюватися залежно від режиму функціонування системи. Тому використання мережевих моделей у поєднанні з ресурсно-календарним плануванням дозволяє перейти від статичного визначення критичного шляху до його динамічної інтерпретації, що є принципово важливим для коректного визначення тривалості будівництва.

Важливим компонентом інструментарію є ресурсно-календарне моделювання, яке забезпечує зв’язок між часовими параметрами та фактичною можливістю виконання робіт. В умовах нестійкого ресурсного середовища ресурсно-календарний рівень набуває особливої значущості, оскільки саме на ньому проявляється вплив дефіциту або нерівномірності ресурсів на тривалість будівництва. У межах даного дослідження ресурсно-календарне моделювання використовується не лише для вирівнювання ресурсів, а як інструмент аналізу сценаріїв перерозподілу трудових ресурсів і зміни інтенсивності робіт у періоди обмеженої доступності енергії. [45, 46, 49]

Застосування сценарного підходу обґрунтовується необхідністю врахування альтернативних режимів функціонування будівельного процесу. В умовах енергокризи неможливо сформувати єдиний «оптимальний» графік, який би залишався актуальним протягом усього життєвого циклу проєкту. Тому доцільним є формування набору сценаріїв, що відрізняються за параметрами енергозабезпечення, тривалістю перерв, можливістю використання резервних джерел та організаційними рішеннями щодо згортання потоків. Методологічно сценарний підхід дозволяє оцінити не лише середнє значення тривалості, а й межі її варіації, що підвищує обґрунтованість управлінських рішень.

Невід'ємною складовою обраного інструментарію є імітаційне моделювання, яке забезпечує можливість відтворення поведінки організаційно-технологічної системи у часі. На відміну від аналітичних методів, імітаційні моделі дозволяють врахувати нелінійні ефекти, пов'язані з повторюваними зупинками та відновленням робіт, а також накопичувальний характер втрат продуктивності. У межах даного дослідження імітаційне моделювання використовується для аналізу наслідків згортання потоків, перерозподілу трудових ресурсів і зміни організаційних режимів без залучення додаткових ресурсів, що безпосередньо відповідає тематиці авторських публікацій.

Особливе значення має обґрунтування застосування багатокритеріальних методів оцінки та оптимізації. Умови нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення зумовлюють необхідність одночасного врахування кількох критеріїв: тривалості будівництва, рівня використання ресурсів, стійкості календарної програми, ризику зупинок та втрат на відновлення процесів. Застосування багатокритеріального підходу дозволяє уникнути спрощеного зведення задачі до мінімізації строків і формує основу для пошуку компромісних рішень, які є більш життєздатними в реальних умовах. [45, 46, 52]

У виборі інструментарію важливу роль відіграє також поєднання кількісних і якісних методів дослідження. Кількісні методи забезпечують формалізований розрахунок параметрів тривалості та дозволяють порівнювати альтернативні рішення. Водночас якісні методи, зокрема експертний аналіз і

логічне узагальнення, є необхідними для врахування факторів, які складно формалізувати, але які суттєво впливають на організацію будівельного процесу в умовах енергокризи. Таке поєднання підвищує надійність результатів і розширює сферу їх практичного застосування.

Цифрові інструменти, зокрема інформаційне моделювання будівель і 4D-планування, у межах даного дослідження розглядаються як середовище реалізації обраного інструментарію, а не як самостійний метод. Використання цифрових моделей дозволяє інтегрувати часові, ресурсні та організаційні параметри в єдиному інформаційному просторі, що спрощує аналіз сценаріїв і підвищує прозорість управлінських рішень. Методологічно це забезпечує зв'язок між теоретичними моделями та практикою управління будівельними проєктами.

Таким чином, вибір науково-прикладного інструментарію та методів дослідження у даній роботі обґрунтований необхідністю комплексного врахування динамічних, ресурсно обумовлених і енергетично залежних процесів, що формують тривалість будівництва. Запропонований інструментарій створює методологічну основу для розроблення авторського підходу до визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи, який буде детально представлено в розділі 3 дисертаційної роботи.

2.7 Формування наукової гіпотези дослідження та методологічних засад розроблення авторського науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва

Проведений аналіз сучасного стану будівельної галузі, дослідження існуючих наукових підходів до організації будівельного виробництва, управління ресурсним забезпеченням та визначення тривалості будівництва дозволили встановити, що традиційні методи календарного планування сформовані переважно для умов стабільного виробничого середовища. При цьому більшість існуючих моделей базуються на припущенні щодо постійності ресурсного забезпечення, незмінності організаційно-технологічних умов

виконання робіт та безперервності виробничих процесів, що істотно обмежує можливість їх використання при реалізації сучасних інвестиційно-будівельних проєктів в умовах енергетичної нестабільності, дефіциту трудових ресурсів та високого рівня невизначеності зовнішнього середовища [8, 13, 17, 24, 33, 52].

У результаті проведеного аналізу встановлено, що одним із головних недоліків існуючих методичних підходів є відсутність інтеграції між процесами ресурсного планування, організаційно-технологічного моделювання, оцінювання впливу енергетичних обмежень та прийняття управлінських рішень щодо адаптації календарних параметрів будівництва. Як показали дослідження О. А. Тугая, О. Д. Пилипчук, В. Л. Железняка, І. Ф. Дворнічена, О. В. Дубинки та інших учених, кожний із зазначених напрямів достатньо глибоко розроблений окремо, проте питання їх комплексної інтеграції в єдину систему управління тривалістю будівництва залишається недостатньо дослідженим [9, 13, 16, 17, 33, 54].

Проведені теоретичні дослідження дозволили сформувати методологічне положення, відповідно до якого тривалість будівництва доцільно розглядати не як фіксовану нормативну величину, а як адаптивний керований параметр, що формується під впливом взаємодії організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційних факторів протягом усього життєвого циклу будівельного проєкту. Такий підхід принципово відрізняється від класичних моделей календарного планування, оскільки передбачає можливість багаторазового перегляду календарних параметрів залежно від зміни умов реалізації проєкту.

Виходячи із зазначених положень сформульовано **наукову гіпотезу дослідження**, яка полягає в тому, що **якщо** тривалість будівництва розглядати як адаптивний керований параметр, що визначається комплексним впливом ресурсного забезпечення, режимів енергопостачання, організаційно-технологічної структури будівельних потоків, ефективності використання трудових ресурсів та сценаріїв реалізації будівельного проєкту, **то** розроблення й застосування інтегрованого науково-прикладного інструментарію визначення

та оптимізації тривалості будівництва забезпечить підвищення точності прогнозування календарних строків, обґрунтованості організаційно-технологічних рішень, ефективності використання ресурсів і стійкості реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах енергетичної нестабільності.

Для перевірки сформульованої наукової гіпотези необхідно вирішити комплекс взаємопов'язаних наукових завдань, які охоплюють розроблення концепції адаптивного управління тривалістю будівництва, формалізацію організаційно-технологічної моделі будівельного процесу, створення механізмів згортання та повторного розгортання будівельних потоків, розроблення моделі адаптивного перерозподілу трудових ресурсів, формування математичного апарату визначення тривалості будівництва та інтеграцію зазначених складових у єдиний авторський науково-прикладний інструментарій.

Методологічною основою розроблення авторського інструментарію є системний підхід до організації будівельного виробництва, який передбачає розгляд інвестиційно-будівельного проєкту як складної відкритої системи, що функціонує під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів. При цьому кожний із структурних елементів системи — організаційно-технологічні рішення, ресурсне забезпечення, календарне планування, енергетичні обмеження та цифрові механізми підтримки управлінських рішень — розглядається як взаємопов'язана складова єдиного процесу управління тривалістю будівництва.

Відповідно до сформульованої гіпотези методологія дослідження ґрунтується на інтеграції системного, процесного, сценарного та організаційно-технологічного підходів. Така інтеграція забезпечує можливість комплексного оцінювання впливу виробничих, ресурсних та енергетичних факторів на календарні параметри будівельних проєктів і створює наукові передумови для формування адаптивних моделей управління тривалістю будівництва.

Таким чином, сформульована наукова гіпотеза визначає загальну логіку дисертаційного дослідження та є методологічною основою розроблення авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва. Її теоретичне підтвердження здійснюється у третьому

розділі шляхом розроблення комплексу взаємопов'язаних моделей, методів, алгоритмів та методики функціонування авторського інструментарію, тоді як практична перевірка працездатності, оцінювання ефективності та підтвердження можливості його застосування в реальних умовах реалізації інвестиційно-будівельних проєктів виконуються в четвертому розділі дисертаційної роботи.

Побудована логічна схема відображає методологію дисертаційного дослідження та демонструє послідовність формування й підтвердження наукової гіпотези, яка покладена в основу розроблення авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва. На відміну від класичних схем організації наукових досліджень, запропонована структура відображає не лише послідовність виконання окремих етапів, а й їх взаємозв'язок із процесом формування управлінських рішень, що забезпечує цілісність дослідження та логічний перехід від постановки наукової проблеми до практичного підтвердження отриманих результатів.

Початковим етапом є визначення проблематики дослідження, що ґрунтується на аналізі сучасного стану будівельної галузі та встановленні впливу ресурсної й енергетичної нестабільності на тривалість реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. Саме результати цього аналізу стали підставою для проведення критичного огляду наукових праць, оцінювання переваг і недоліків існуючих методів календарного планування та визначення напрямів подальших наукових досліджень.

На основі отриманих результатів сформульовано наукову гіпотезу дослідження, яка визначає основний напрям дисертаційної роботи та обґрунтовує необхідність розроблення інтегрованого авторського науково-прикладного інструментарію. Відповідно до сформульованої гіпотези визначено методологічні засади дослідження, що базуються на системному, процесному, сценарному та організаційно-технологічному підходах і забезпечують інтеграцію методів аналізу, математичного моделювання та прийняття управлінських рішень.

Наступним логічним етапом є розроблення авторського науково-прикладного інструментарію, що становить основний зміст третього розділу дисертації. На цьому етапі сформовано комплекс взаємопов'язаних моделей, методів, алгоритмів і методики їх функціонування, які забезпечують визначення та оптимізацію тривалості будівництва в умовах енергетичної нестабільності. Завершальним етапом дослідження є практична апробація розробленого інструментарію на реальних будівельних проєктах, оцінювання його ефективності та підтвердження можливості практичного застосування, що наведено у четвертому розділі дисертаційної роботи.

Важливою особливістю запропонованої схеми є наявність механізму зворотного зв'язку між окремими етапами дослідження. Це свідчить про циклічний характер процесу розроблення авторського інструментарію, коли результати кожного етапу використовуються для уточнення математичних моделей, алгоритмів та організаційно-технологічних рішень. Такий підхід забезпечує адаптивність методології дослідження та відповідає сучасним принципам управління складними будівельними системами в умовах невизначеності.

Таким чином, рисунок 2.1 не лише ілюструє загальну логіку виконання дисертаційного дослідження, а й відображає взаємозв'язок між сформульованою науковою гіпотезою, методологічними засадами, авторським науково-прикладним інструментарієм та його практичною апробацією. Це підтверджує цілісність обраної методології дослідження та створює логічну основу для подальшого теоретичного обґрунтування запропонованого інструментарію у третьому розділі і його практичного підтвердження у четвертому розділі.

Рисунок 2.1 Логіка дисертаціного дослідженя та послідовність підтвердження наукової гіпотези

Сформована методологія дослідження визначає послідовну логіку розроблення авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва та забезпечує взаємозв'язок між науковою проблемою, сформульованою гіпотезою, теоретичними положеннями й практичними результатами дослідження. На відміну від існуючих підходів, запропонована методологія передбачає інтеграцію організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних компонентів у єдину систему прийняття управлінських рішень. Саме така послідовність дослідження забезпечує можливість переходу від теоретичного обґрунтування наукової гіпотези до формалізації авторського науково-прикладного інструментарію, математичний апарат, структура та методика функціонування якого наведені у третьому розділі дисертаційної роботи. Практична перевірка його працездатності, оцінювання ефективності та підтвердження можливості застосування в реальних умовах реалізації інвестиційно-будівельних проєктів здійснюються у четвертого розділі.

Висновки до розділу 2

1. У розділі 2 дисертаційної роботи сформовано цілісну теоретико-методологічну основу дослідження проблеми визначення тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення. Проведений аналіз сучасних наукових підходів, методів і моделей дозволив обґрунтувати необхідність переосмислення традиційних уявлень про календарне планування та управління строками реалізації будівельних проєктів.

2. Установлено, що класичні методи визначення тривалості будівництва, сформовані в умовах відносної стабільності ресурсного середовища, не забезпечують належної адекватності при застосуванні в умовах енергокризи. Їх обмеженість проявляється у нездатності формалізувати змінні режими доступності ресурсів, періоди згортання та відновлення потоків, а також пов’язані з цим втрати часу й продуктивності.

3. Обґрунтовано доцільність застосування системного підходу як методологічної основи дослідження, що дозволяє розглядати будівельний процес як складну організаційно-технологічну систему, тривалість функціонування якої формується під впливом взаємодії внутрішніх рішень і зовнішніх обмежень. Показано, що саме такий підхід створює умови для інтеграції організаційних, технологічних, ресурсних і енергетичних факторів у єдину модель.

4. У розділі сформульовано методологічні засади врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення, які полягають у переході від статичних календарних моделей до динамічних, адаптивних і сценарно-орієнтованих підходів. Доведено, що тривалість будівництва в сучасних умовах має розглядатися як параметр, чутливий до змін середовища, але керований за рахунок організаційно-технологічних рішень.

5. Сформовано наукову проблему дослідження, яка полягає у невідповідності між умовами реалізації будівельних проєктів в енергокризі та наявним методичним апаратом визначення тривалості будівництва, а також окреслено предмет дослідження як сукупність методів, моделей і механізмів

оптимізації тривалості з урахуванням змінних режимів ресурсного та енергетичного забезпечення.

6. Обґрунтовано вибір науково-прикладного інструментарію, який поєднує формалізоване організаційно-технологічне моделювання, ресурсно-календарне планування, сценарний і імітаційний підходи, багатокритеріальну оцінку та цифрові інструменти. Показано, що саме така комбінація методів забезпечує можливість адекватного аналізу та управління тривалістю будівництва в умовах нестійкого середовища.

7. Отримані теоретико-методологічні положення створюють наукову основу для розроблення авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи, який буде представлено та апробовано в розділі 3 дисертаційної роботи.

8. У результаті проведеного теоретичного дослідження сформовано методологічні засади розроблення авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення. На основі системного аналізу сучасних наукових підходів встановлено, що існуючі методи календарного планування недостатньо враховують комплексний вплив організаційно-технологічних, ресурсних та енергетичних факторів на тривалість реалізації будівельних проєктів. Це обумовило необхідність формування нового методологічного підходу, який ґрунтується на інтеграції системного, процесного, сценарного та організаційно-технологічного підходів до управління будівельним виробництвом.

9. На основі проведених досліджень сформульовано наукову гіпотезу, відповідно до якої тривалість будівництва розглядається як адаптивний керований параметр, що визначається комплексною взаємодією організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів. Передбачається, що розроблення та застосування інтегрованого авторського науково-прикладного інструментарію забезпечить підвищення точності визначення тривалості будівництва, ефективності використання ресурсів,

обґрунтованості управлінських рішень і стійкості реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах енергетичної нестабільності.

10. Сформульована наукова гіпотеза визначає логіку подальших досліджень і є методологічною основою третього розділу дисертації, у якому здійснюється розроблення, формалізація та теоретичне обґрунтування авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва, тоді як його практична апробація та підтвердження ефективності наведені у четвертому розділі дисертаційної роботи.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ НАУКОВО-ПРИКЛАДНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ТРИВАЛОСТІ БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ ЕНЕРГОКРИЗИ

У попередньому розділі дисертаційної роботи сформовано теоретико-методологічну основу дослідження, яка дозволила обґрунтувати наукову проблему та визначити предмет дослідження, пов’язаний із визначенням тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення. Проведений аналіз засвідчив, що існуючі методи та моделі не забезпечують належної адекватності при застосуванні в умовах енергокризи, оскільки не враховують динамічний характер доступності ресурсів і необхідність адаптації організаційно-технологічних рішень. [13, 14, 45, 46, 49]

У зв’язку з цим у розділі 3 здійснюється перехід від теоретико-методологічних положень до розроблення авторського науково-прикладного інструментарію, спрямованого на визначення та оптимізацію тривалості будівництва з урахуванням змінних режимів енергозабезпечення. Основна ідея розділу полягає у формуванні такого інструментарію, який дозволяє не лише оцінювати тривалість будівництва за різних сценаріїв, а й активно впливати на неї шляхом вибору раціональних організаційно-технологічних стратегій.

Розроблюваний інструментарій має комплексний характер і поєднує формалізовані організаційно-технологічні моделі, механізми згортання та відновлення потоків, процедури перерозподілу трудових ресурсів, сценарний та імітаційний аналіз, а також елементи цифрового середовища планування. Такий підхід забезпечує практичну спрямованість дослідження і створює умови для апробації отриманих результатів у реальних умовах будівельного виробництва.

3.1 Концепція авторського науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи

Розроблення науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи ґрунтується на положенні про те, що часові параметри реалізації будівельних проєктів формуються як результат взаємодії організаційно-технологічних рішень із нестійким ресурсним середовищем. На відміну від традиційних підходів, де тривалість визначається переважно технологічною логікою виконання робіт, у запропонованій концепції тривалість розглядається як керований параметр, що може змінюватися залежно від обраної стратегії організації будівельного процесу.

Концептуально авторський інструментарій базується на інтеграції системного, процесного та сценарного підходів, що дозволяє розглядати будівельний процес як динамічну організаційно-технологічну систему, здатну адаптуватися до змін умов функціонування. Така система характеризується наявністю декількох режимів роботи, які відрізняються рівнем доступності енергетичних і трудових ресурсів, інтенсивністю виконання робіт та організаційною структурою потоків. Відповідно, визначення тривалості будівництва здійснюється не для одного «ідеального» режиму, а для сукупності можливих режимів, що формують сценарне поле реалізації проєкту. [15, 16, 45, 46, 61, 63, 65]

Основним концептуальним положенням авторського інструментарію є трактування енергетичної нестійкості як системоутворюючого чинника, що визначає необхідність трансформації організаційно-технологічних рішень. У цьому контексті енергокриза розглядається не лише як зовнішнє обмеження, а як фактор, який змінює логіку формування календарних графіків, структуру потоків і правила використання ресурсів. Саме тому інструментарій орієнтований на аналіз не тільки тривалості робіт, а й наслідків переходу між різними режимами функціонування системи. [24, 25, 37, 39, 45, 49]

Концепція авторського інструментарію передбачає поетапне формування рішення щодо тривалості будівництва. На першому етапі здійснюється формалізація організаційно-технологічної структури проєкту з використанням

мережевих моделей, що дозволяє визначити технологічні залежності та базову часову структуру. На другому етапі до моделі вводяться параметри ресурсного та енергетичного забезпечення, які характеризують можливість виконання робіт у різних режимах. На третьому етапі здійснюється сценарний аналіз, у межах якого формується множина альтернативних організаційно-технологічних стратегій, що відрізняються способом реагування на енергетичні обмеження. [13, 45, 46, 50, 61]

Важливим елементом концепції є включення до інструментарію механізмів згортання та повторного розгортання будівельних потоків, які розглядаються як керований інструмент оптимізації тривалості. На відміну від традиційних підходів, де згортання потоків асоціюється з негативними наслідками, у даному дослідженні воно розглядається як раціональна організаційна реакція на обмеження, що дозволяє мінімізувати втрати часу за рахунок перерозподілу трудових ресурсів і зміни структури виконання робіт. Це положення безпосередньо ґрунтується на результатах авторських досліджень, присвячених впливу періоду згортання потоків на перерозподіл невикористаного трудового ресурсу в неритмічних роботах. [47, 48, 49, 50]

Концепція інструментарію також передбачає використання динамічного критичного шляху, який формується з урахуванням сценаріїв енергозабезпечення та організаційних рішень. Такий підхід дозволяє відмовитися від жорсткої фіксації критичних робіт і перейти до аналізу їх змінної критичності в залежності від умов виконання. У результаті тривалість будівництва визначається не як раз і назавжди задане значення, а як функція сценарію реалізації проєкту. [45, 50, 61, 62, 65]

Суттєвою складовою концепції є орієнтація на практичне застосування розроблюваного інструментарію. З цією метою він проектується як сумісний із цифровими середовищами планування та управління будівництвом, зокрема з 4D-BIM. Це дозволяє інтегрувати календарні, ресурсні та організаційні параметри в єдину інформаційну модель, що підвищує прозорість рішень і спрощує їх апробацію на реальних об’єктах. [45, 52, 67, 68, 69]

Таким чином, концепція авторського науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи ґрунтується на

системному розгляді будівельного процесу, формалізації нестійкості ресурсного середовища та використанні адаптивних організаційно-технологічних механізмів. Саме ця концепція створює основу для подальшої деталізації структури інструментарію, розроблення математичних і алгоритмічних процедур, а також практичної перевірки ефективності запропонованих рішень у наступних підпунктах розділу 3. [45, 46, 47, 48, 49, 50]

Подальший розвиток концепції авторського науково-прикладного інструментарію пов’язаний із необхідністю чіткого методологічного розмежування між оцінюванням тривалості та управлінням тривалістю будівництва. У традиційних підходах ці поняття часто ототожнюються, що призводить до спрощеного трактування процесу планування строків як разового розрахунку календарних параметрів. У межах запропонованої концепції авторського інструментарію таке ототожнення вважається методологічно некоректним, оскільки в умовах енергокризи тривалість будівництва є змінною величиною, що формується та уточнюється протягом усього життєвого циклу проєкту. [45, 46, 50, 51]

Оцінювання тривалості в авторській концепції розглядається як аналітична процедура, спрямована на визначення можливих часових параметрів реалізації проєкту за заданих умов ресурсного та енергетичного забезпечення. Водночас управління тривалістю трактується як безперервний процес прийняття організаційно-технологічних рішень, спрямованих на адаптацію будівельного процесу до змін умов функціонування. Саме поєднання цих двох складових — оцінювання і управління — визначає прикладну цінність розроблюваного інструментарію. [45, 49, 50]

У цьому контексті важливою є концептуальна ідея багаторівневості інструментарію, яка передбачає його використання на різних рівнях управління будівельним проєктом. На стратегічному рівні інструментарій дозволяє оцінити вплив нестійкого енергетичного забезпечення на загальну тривалість реалізації проєкту та сформувати альтернативні сценарії розвитку подій. На тактичному рівні він використовується для вибору організаційно-технологічних стратегій, зокрема щодо згортання потоків, перерозподілу трудових ресурсів і зміни

черговості виконання робіт. На оперативному рівні інструментарій забезпечує можливість коригування календарних параметрів у відповідь на поточні відхилення та обмеження. [15, 45, 46, 50, 51]

Такий багаторівневий підхід дозволяє уникнути ситуації, коли рішення щодо тривалості будівництва приймаються фрагментарно і без урахування наслідків на інших рівнях управління. Методологічно це відповідає положенням системного аналізу, згідно з якими ефективність функціонування складної системи визначається узгодженістю рішень, що приймаються на різних ієрархічних рівнях. У межах авторської концепції інструментарій виступає саме як засіб забезпечення такої узгодженості. [15, 16, 61, 63]

Суттєвим елементом концепції є трактування організаційно-технологічної структури будівельного процесу як об’єкта управління, що підлягає цілеспрямованій трансформації в умовах енергокризи. У традиційних підходах організаційно-технологічні рішення часто розглядаються як фіксовані параметри, задані на стадії проєктування. Натомість у запропонованому інструментарії вони розглядаються як змінні, які можуть і повинні коригуватися залежно від режимів ресурсного забезпечення. Такий підхід дозволяє розглядати зміну структури потоків, складу бригад і послідовності виконання робіт як інструмент управління тривалістю, а не як вимушений компроміс. [24, 25, 37, 39, 45, 49]

Особливу увагу в концепції авторського інструментарію приділено ролі трудових ресурсів у забезпеченні адаптивності будівельного процесу. У ваших авторських дослідженнях показано, що за умов неритмічності робіт і періодів згортання потоків саме трудові ресурси є найбільш гнучким елементом системи, здатним компенсувати частину негативного впливу енергетичних обмежень. Відповідно, інструментарій орієнтований на аналіз можливостей перерозподілу трудових ресурсів між роботами, що відрізняються за ступенем енергозалежності, а також на оцінку впливу такого перерозподілу на загальну тривалість будівництва. [45, 46, 52, 67, 68]

У концептуальному плані це означає, що трудові ресурси розглядаються не лише як обмеження, а як активний керуючий фактор, який може

використовуватися для згладжування наслідків енергетичної нестабільності. Саме цей підхід дозволяє сформувати інструментарій, орієнтований на оптимізацію тривалості без залучення додаткових ресурсів, що є особливо актуальним в умовах обмеженого ринку праці та фінансових ресурсів.

Ще одним концептуальним положенням авторського інструментарію є відмова від жорстко фіксованих нормативних значень тривалості як основи планування строків. У межах запропонованої концепції нормативи розглядаються як вихідна інформація, що підлягає коригуванню з урахуванням фактичних умов реалізації проєкту. Такий підхід дозволяє уникнути ситуації, коли календарний план формально відповідає нормативам, але не відображає реальної можливості виконання робіт в умовах енергокризи.

Концепція авторського інструментарію також передбачає активне використання зворотного зв’язку між плановими та фактичними параметрами виконання робіт. Зворотний зв’язок розглядається як ключовий елемент управління тривалістю, що дозволяє уточнювати модель на основі фактичних даних, коригувати сценарії та адаптувати організаційно-технологічні рішення. У цифровому середовищі такий зворотний зв’язок може бути реалізований через оновлення 4D-моделей і використання оперативної інформації з будівельного майданчика. [45, 46, 49, 50, 51]

У методологічному сенсі включення механізмів зворотного зв’язку означає перехід від статичного планування до ітеративного управління тривалістю, коли календарні параметри уточнюються у процесі реалізації проєкту. Це дозволяє розглядати тривалість будівництва не як заздалегідь задану величину, а як результат послідовності управлінських рішень, прийнятих у відповідь на зміну умов. [45, 49, 50, 61, 63]

Важливим концептуальним аспектом є також універсальність авторського інструментарію, яка полягає в можливості його застосування до різних типів інвестиційно-будівельних проєктів. Хоча основний акцент у дослідженні зроблено на проєктах промислового та цивільного будівництва, а також на об’єктах реконструкції та відбудови, методологічні положення інструментарію мають загальний характер і можуть бути адаптовані до інших умов. Це підвищує

наукову цінність отриманих результатів і розширює сферу їх практичного використання. [45, 49, 50, 51, 52]

У підсумку концепція авторського науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи базується на таких ключових положеннях: розгляд тривалості як керованого параметра; формалізація нестійкості ресурсного та енергетичного забезпечення; використання адаптивних організаційно-технологічних механізмів; інтеграція сценарного та імітаційного підходів; орієнтація на багаторівневе управління і практичну реалізацію. Саме сукупність цих положень створює концептуальний фундамент для подальшої деталізації структури інструментарію.

3.2 Структурна модель та складові авторського науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва

Розроблення авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи потребує чіткого структурування його складових та визначення логіки їх взаємодії. На відміну від окремих методів або моделей, інструментарій у межах даного дослідження розглядається як цілісна система, що поєднує аналітичні, модельні та управлінські компоненти й забезпечує послідовний перехід від аналізу вихідних умов до формування та оцінки організаційно-технологічних рішень. [45, 51, 52]

Структурна модель інструментарію ґрунтується на положенні про те, що тривалість будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення формується на перетині трьох груп факторів: технологічних (послідовність і характер робіт), організаційних (структура потоків, розподіл ресурсів, управлінські рішення) та зовнішніх (режими доступності енергії та інших критичних ресурсів). Відповідно, інструментарій має бути здатним інтегрувати ці фактори в єдиному аналітичному просторі та забезпечувати їх узгоджене врахування при визначенні тривалості. [49, 50, 51]

У концептуальному плані структурна модель авторського інструментарію формується як багатокомпонентна система, у якій кожна складова виконує

визначену функцію, а їх взаємодія забезпечує досягнення кінцевого результату — обґрунтованого визначення тривалості будівництва за різних сценаріїв енергозабезпечення. При цьому структура інструментарію не є жорстко фіксованою, а допускає адаптацію до специфіки конкретного інвестиційно-будівельного проєкту. [47, 48, 50]

Першою базовою складовою структурної моделі є інформаційно-аналітичний блок, який забезпечує формування вихідної бази даних для подальшого моделювання. У межах цього блоку здійснюється систематизація інформації про склад і технологічні характеристики робіт, нормативні та фактичні показники їх виконання, наявні трудові, технічні та матеріальні ресурси, а також параметри енергетичного забезпечення. Методологічно важливо, що інформаційно-аналітичний блок не обмежується фіксацією статичних даних, а передбачає врахування змінності ресурсних умов у часі. [47, 48, 49, 50]

Особливе місце в інформаційно-аналітичному блоці займає формування даних про енергетичну залежність будівельних процесів, що дозволяє диференціювати роботи за ступенем чутливості до енергетичних обмежень. Така диференціація створює основу для подальшого аналізу можливостей перерозподілу ресурсів і вибору альтернативних організаційно-технологічних рішень. У цьому аспекті структурна модель інструментарію безпосередньо спирається на результати авторських досліджень, у яких доведено доцільність урахування неритмічності робіт і періодів згортання потоків при аналізі використання трудових ресурсів. [45, 46, 52, 67, 69]

Другою ключовою складовою інструментарію є модельний блок, який забезпечує формалізоване відображення організаційно-технологічної структури будівельного процесу. У межах цього блоку використовуються мережеві та ресурсно-календарні моделі, адаптовані до умов нестійкого енергетичного забезпечення. Модельний блок дозволяє відобразити технологічні зв’язки між роботами, визначити базову часову структуру проєкту та сформувати вихідні параметри для сценарного аналізу. [45, 52, 67, 68, 69, 70]

Принциповою особливістю модельного блоку є його адаптивний характер. На відміну від класичних моделей, у яких параметри робіт вважаються незмінними, в авторському інструментарії передбачено можливість зміни тривалості, інтенсивності та послідовності виконання робіт залежно від режиму енергозабезпечення. Це дозволяє перейти від жорстко заданого календарного плану до гнучкої моделі, здатної відображати реальні умови функціонування будівельного процесу. [45, 60]

Наступною складовою структурної моделі є блок сценарного та імітаційного аналізу, який відіграє центральну роль у визначенні тривалості будівництва в умовах енергокризи. У межах цього блоку формуються альтернативні сценарії реалізації проєкту, що відрізняються параметрами доступності енергії, тривалістю та частотою перерв, а також організаційними рішеннями щодо згортання та відновлення потоків. Імітаційне моделювання дозволяє відтворити поведінку організаційно-технологічної системи у часі та оцінити наслідки кожного сценарію для загальної тривалості будівництва.

Методологічна цінність сценарного та імітаційного блоку полягає в тому, що він дозволяє перейти від абстрактного аналізу ризиків до кількісної оцінки впливу енергетичної нестійкості на календарні параметри проєкту. Саме в цьому блоці реалізується концепція динамічного критичного шляху, коли критичність робіт визначається з урахуванням поточного режиму функціонування системи.

Окремою складовою структурної моделі інструментарію є блок організаційно-технологічних рішень, який забезпечує формування та оцінку альтернативних стратегій управління тривалістю будівництва. У межах цього блоку аналізуються можливості згортання потоків, перерозподілу трудових ресурсів, зміни черговості виконання робіт і використання резервів часу. Саме цей блок перетворює інструментарій із засобу аналізу на інструмент підтримки прийняття управлінських рішень. [45, 46, 49, 50, 51]

Методологічно важливо, що блок організаційно-технологічних рішень інтегрований із модельним і сценарним блоками, що забезпечує узгодженість рішень на різних рівнях управління. Такий підхід дозволяє уникнути ситуацій,

коли локальні рішення щодо окремих робіт або потоків призводять до негативних наслідків для тривалості проєкту в цілому. [47, 48, 50]

Завершальною складовою структурної моделі є оціночно-оптимізаційний блок, який забезпечує порівняльну оцінку альтернативних сценаріїв і вибір раціональних рішень. У межах цього блоку використовуються показники тривалості, стійкості календарної програми, рівня використання ресурсів і величини втрат, пов'язаних із переходами між режимами. Застосування багатокритеріального підходу дозволяє врахувати компромісний характер управлінських рішень у нестійкому середовищі та обґрунтувати вибір організаційно-технологічної стратегії. [49, 50, 51]

Важливо підкреслити, що структурна модель авторського інструментарію орієнтована на цифрову реалізацію, що забезпечує її практичну застосовність. Інтеграція з інформаційними моделями будівель дозволяє пов'язати календарні та ресурсні параметри з просторовими характеристиками об'єкта, підвищити наочність аналізу та спростити процес коригування рішень. У цьому аспекті інструментарій виступає не лише як аналітичний засіб, а як елемент сучасної системи управління будівельними проєктами.

У підсумку структурна модель авторського науково-прикладного інструментарію визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи являє собою цілісну систему взаємопов'язаних блоків, що забезпечують послідовний перехід від аналізу вихідних умов до формування й оптимізації організаційно-технологічних рішень. Саме така структура створює основу для подальшої формалізації алгоритмів роботи інструментарію та їх практичної апробації, що буде детально розглянуто.

Подана на рисунку структурна модель авторського науково-прикладного інструментарію наочно відображає логіку формування та взаємодії його основних складових у процесі визначення й оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи. Модель побудована за принципом системної інтеграції, що дозволяє розглядати тривалість будівництва як результат узгодженої дії аналітичних, модельних і управлінських елементів, функціонування яких відбувається в умовах нестійкого ресурсного середовища. [49, 50, 51]

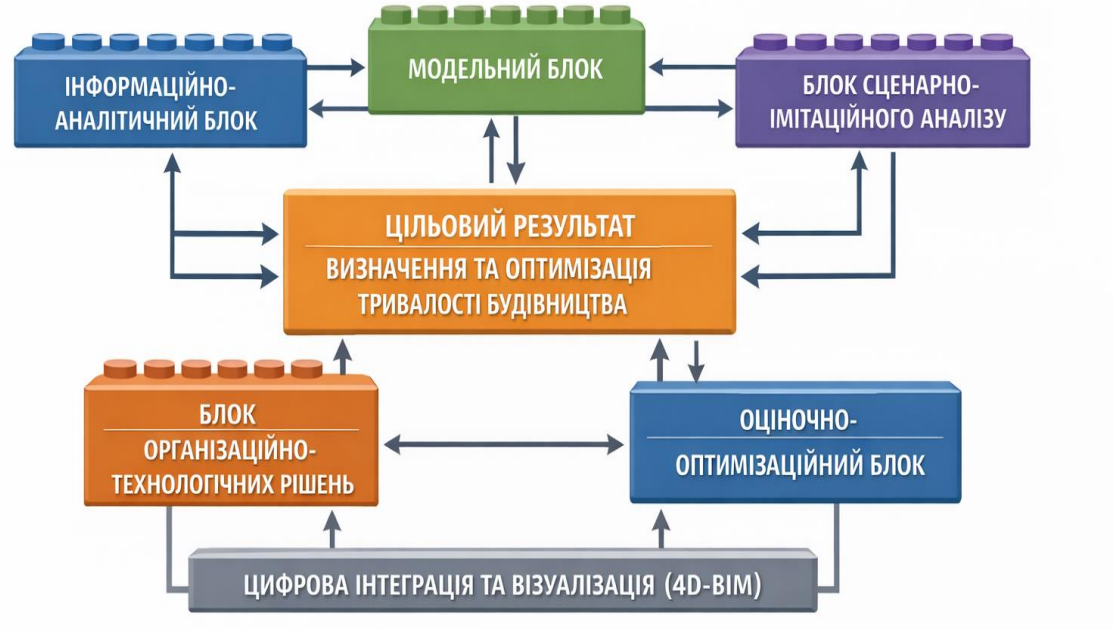

Рисунок 3.1 Структурна модель наукового інструментарію визначення тривалості будівництва

Джерело: розроблено автором

Інформаційно-аналітичний блок формує вихідну основу інструментарію та забезпечує акумулювання даних про технологічну структуру проєкту, ресурсні параметри та характеристики енергетичного забезпечення. Його зв'язок із модельним блоком підкреслює роль вихідної інформації як базису для формалізації організаційно-технологічних рішень і подальшого аналізу тривалості будівництва. [45, 46, 52, 67, 69]

Модельний блок виступає центральною ланкою інструментарію, у межах якої здійснюється формалізоване відображення будівельного процесу з урахуванням змінних режимів функціонування. Двосторонні зв'язки між модельним блоком і блоком сценарно-імітаційного аналізу відображають ітеративний характер дослідження, коли результати сценарного аналізу використовуються для уточнення моделей, а моделі, у свою чергу, забезпечують формування сценаріїв реалізації проєкту. [67, 69]

Блок сценарно-імітаційного аналізу забезпечує врахування невизначеності та мінливості енергетичного забезпечення, дозволяючи оцінити вплив альтернативних сценаріїв на тривалість будівництва. Його взаємодія з цільовим результатом підкреслює роль сценарного підходу як інструменту кількісної оцінки наслідків організаційно-технологічних рішень у нестійких умовах.

Блок організаційно-технологічних рішень та оціночно-оптимізаційний блок формують управлінську складову інструментарію. Їх взаємозв'язок відображає послідовний перехід від формування альтернативних стратегій до їх порівняльної оцінки та вибору раціонального рішення. При цьому оптимізація тривалості будівництва здійснюється не ізольовано, а з урахуванням стійкості календарної програми та ефективності використання ресурсів.

Цифрова інтеграція та візуалізація (4D-BIM), розміщена в нижній частині структурної моделі, відображає середовище практичної реалізації авторського інструментарію. Її зв'язки з ключовими блоками моделі підкреслюють роль цифрових технологій як засобу інтеграції, візуалізації та підтримки прийняття рішень, а не як самостійного методу визначення тривалості. [45, 52, 67, 68, 69, 70]

Таким чином, представлена структурна модель демонструє цілісність і логічну завершеність авторського науково-прикладного інструментарію, підтверджуючи його здатність забезпечувати системне визначення та оптимізацію тривалості будівництва в умовах енергокризи. Запропонована модель створює методичну основу для подальшої формалізації механізмів згортання потоків, перерозподілу ресурсів і розроблення алгоритмів оптимізації.

3.3 Формалізація механізмів згортання будівельних потоків та перерозподілу трудових ресурсів у процесі оптимізації тривалості будівництва

Умови енергокризи та нестійкого ресурсного забезпечення зумовлюють необхідність переосмислення ролі згортання будівельних потоків у системі організації та управління будівництвом. У традиційних підходах згортання

потоків розглядається переважно як негативне явище, пов’язане з порушенням ритмічності робіт, зростанням втрат часу та зниженням ефективності використання ресурсів. Проте результати проведених досліджень і практичний досвід реалізації інвестиційно-будівельних проєктів у кризових умовах свідчать, що за належної організації згортання потоків може виконувати функцію адаптивного механізму, спрямованого на зменшення негативного впливу енергетичних обмежень на тривалість будівництва. [45, 52, 67, 68, 69, 70]

У межах даного дослідження згортання будівельних потоків трактується як керований організаційно-технологічний процес, що полягає у тимчасовій зміні структури виконання робіт, інтенсивності потоків і розподілу трудових ресурсів у відповідь на зниження доступності енергетичних або інших критичних ресурсів. Така інтерпретація принципово відрізняється від традиційного підходу, де згортання асоціюється з вимушеним простоєм, і дозволяє включити цей процес до складу науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва.

Формалізація механізмів згортання потоків у запропонованому інструментарії передбачає виділення дискретних станів функціонування організаційно-технологічної системи, кожен з яких характеризується власними параметрами виконання робіт. До таких станів належать режим нормального функціонування, режим часткового виконання робіт за обмеженого енергозабезпечення та режим згортання з подальшим відновленням потоків. Перехід між цими станами відбувається під впливом зовнішніх факторів, насамперед змін у режимах енергопостачання, а також управлінських рішень, прийнятих на рівні проєкту. [45, 49, 50, 61, 63]

Методологічно важливо, що кожен із зазначених станів має бути формалізований у моделі тривалості будівництва через зміну параметрів продуктивності, інтенсивності потоків і структури використання трудових ресурсів. Такий підхід дозволяє кількісно оцінювати не лише прямі втрати часу, пов’язані з припиненням виконання окремих робіт, а й опосередковані ефекти, зумовлені зміною ритму роботи та необхідністю повторних підготовчо-завершальних операцій. [47, 48, 49, 50]

Ключовим елементом механізму згортання потоків є перерозподіл трудових ресурсів, який у межах авторського інструментарію розглядається як основний засіб компенсації втрат часу. Дослідження довели, що за умов неритмічних робіт і обмеженого енергозабезпечення значна частина трудового ресурсу залишається невикористаною або використовується неефективно. Формалізація цього явища дозволяє розглядати невикористаний трудовий ресурс як потенціал для оптимізації, який може бути задіяний шляхом його спрямування на альтернативні процеси, підготовчі роботи або менш енергоємні операції. [13, 45, 46, 50, 61]

У запропонованому інструментарії перерозподіл трудових ресурсів здійснюється на основі класифікації робіт за ступенем енергозалежності та можливістю їх виконання в умовах обмеженого енергозабезпечення. Така класифікація дозволяє виділити групи робіт, які можуть виконуватися без суттєвого зниження продуктивності навіть у режимі часткового енергопостачання, і, відповідно, визначити напрями перерозподілу трудових ресурсів у періоди згортання потоків. Методологічно це забезпечує більш раціональне використання наявного персоналу без залучення додаткових ресурсів. [15, 16, 45, 46, 61, 63, 65]

Формалізація механізмів перерозподілу трудових ресурсів також передбачає врахування часових витрат на зміну організаційної структури. Перехід бригад між видами робіт супроводжується витратами часу на адаптацію, переналагодження процесів і координацію дій, що повинно бути відображено в моделі тривалості. Ігнорування цих витрат призводить до завищеної оцінки ефективності перерозподілу та спотворення результатів оптимізації. Тому в межах авторського інструментарію ці витрати розглядаються як обов’язкова складова загальної тривалості.

Особливо розглянемо формалізації взаємозв’язку між згортанням потоків і критичним шляхом проєкту. У класичному мережевому плануванні критичний шлях визначається на основі технологічних залежностей і нормативних тривалостей. Проте в умовах згортання потоків критичність робіт може змінюватися, оскільки обмеження енергозабезпечення впливають на можливість

їх виконання в конкретний момент часу. У зв’язку з цим у межах авторського інструментарію запроваджується поняття умовно-критичних робіт, критичність яких залежить від поточного режиму функціонування системи.

Формалізація умовно-критичних робіт дозволяє врахувати динамічний характер критичного шляху та оцінити, як згортання окремих потоків впливає на загальну тривалість будівництва. Це, у свою чергу, створює можливість для цілеспрямованого управління згортанням потоків з метою мінімізації негативного впливу на строк реалізації проєкту. Методологічно такий підхід узгоджується з концепцією динамічного критичного шляху, сформульованою в попередніх підрозділах. [46, 61, 63, 65]

Важливим аспектом формалізації механізмів згортання потоків є врахування накопичувального ефекту повторюваних зупинок і відновлення робіт. У реальних умовах будівельного виробництва повторні періоди згортання можуть призводити до зростання втрат продуктивності або, навпаки, до певної адаптації персоналу та організаційної системи. Авторський інструментарій передбачає можливість відображення таких ефектів через зміну параметрів продуктивності та підготовчо-завершальних витрат у наступних циклах згортання та відновлення потоків. [15, 63, 65]

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що формалізація механізмів згортання будівельних потоків і перерозподілу трудових ресурсів у межах даного дослідження створює методологічну основу для активного управління тривалістю будівництва в умовах енергокризи. Запропонований підхід дозволяє перейти від реактивного реагування на зупинки до цілеспрямованого використання згортання потоків як інструменту оптимізації, що безпосередньо відображає авторський внесок у розвиток теорії та практики організації будівельного виробництва.

На рисунку 3.2 представлено схему формалізації механізмів згортання будівельних потоків та перерозподілу трудових ресурсів у процесі оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи. Запропонована схема відображає логічну послідовність переходів між основними режимами функціонування

організаційно-технологічної системи будівельного виробництва та демонструє роль згортання потоків як керованого адаптивного механізму.

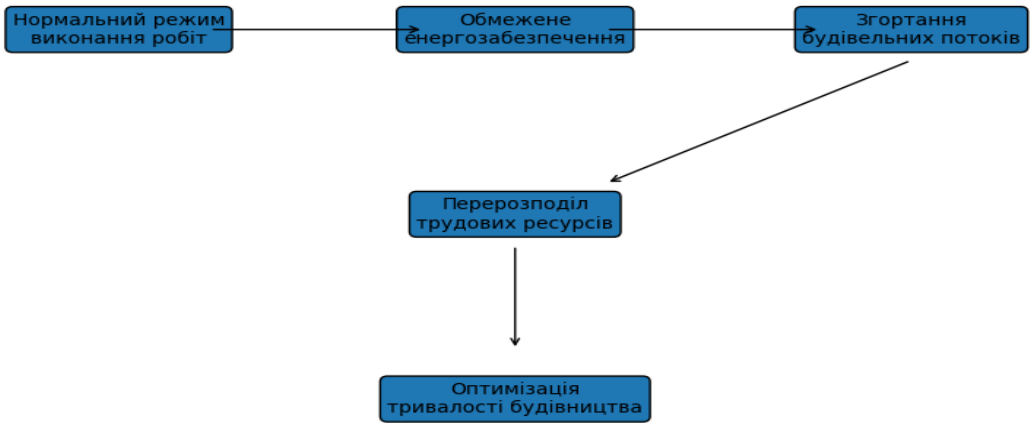

Рисунок 3.2 Схема формалізації механізмів згортання будівельних потоків та перерозподілу трудових ресурсів у процесі оптимізації тривалості будівництва

Джерело: розроблено автором

Верхній рівень схеми відображає нормальний режим виконання робіт, за якого будівельний процес функціонує відповідно до запланованих календарних і технологічних параметрів. Перехід до стану обмеженого енергозабезпечення відображає вплив зовнішніх факторів, які порушують ритмічність виконання робіт та знижують можливість використання енергоємних технологічних процесів. Саме на цьому етапі виникає необхідність перегляду організаційно-технологічних рішень. [15, 16, 45, 46, 61, 63, 65]

Наступний етап, представлений у схемі, відповідає згортанню будівельних потоків, яке в межах авторського підходу розглядається не як вимушений простій, а як свідомо керований організаційний режим. Згортання потоків дозволяє тимчасово змінити структуру виконання робіт, зменшити залежність процесів від енергопостачання та створити умови для раціонального використання наявних ресурсів.

Центральним елементом схеми є перерозподіл трудових ресурсів, який виступає ключовим компенсаторним механізмом у періоди обмеженого енергозабезпечення. Саме на цьому етапі реалізується потенціал використання

невикористаного або частково використаного трудового ресурсу шляхом його спрямування на менш енергоємні роботи, підготовчі операції або альтернативні технологічні процеси. Такий підхід дозволяє зменшити втрати часу, пов’язані зі згортанням потоків, і підвищити загальну адаптивність будівельного процесу.

Завершальний елемент схеми — оптимізація тривалості будівництва — відображає результат функціонування запропонованого механізму. Оптимізація досягається не шляхом механічного скорочення строків, а за рахунок узгодженого використання організаційно-технологічних рішень, перерозподілу ресурсів і управління режимами функціонування системи. Таким чином, тривалість будівництва розглядається як керований параметр, що формується в процесі адаптації до нестійких умов. [45, 50, 61, 62, 65]

Представлена схема наочно підтверджує можливість формалізації механізмів згортання будівельних потоків і перерозподілу трудових ресурсів у складі авторського науково-прикладного інструментарію. Вона демонструє логічний зв’язок між зовнішніми обмеженнями, організаційними рішеннями та кінцевим результатом у вигляді оптимізованої тривалості будівництва, що створює основу для подальшої алгоритмізації зазначених механізмів.

3.4 Алгоритм визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи

Розроблення алгоритму визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи є логічним завершенням формування авторського науково-прикладного інструментарію. На відміну від традиційних алгоритмів календарного планування, запропонований алгоритм орієнтований на врахування нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення, а також на використання адаптивних організаційно-технологічних механізмів як активного інструменту управління тривалістю будівництва. [15, 16, 45, 46, 61, 63, 65]

Алгоритм побудовано за принципом поетапної деталізації управлінських рішень — від формування вихідної інформаційної бази до вибору оптимальної організаційно-технологічної стратегії реалізації будівельного проєкту. Його

особливістю є ітеративний характер, що дозволяє уточнювати параметри тривалості в процесі аналізу альтернативних сценаріїв енергозабезпечення та організаційних рішень.

Загальну логіку алгоритму визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи подано на рис.3.3, який відображає послідовність основних етапів формування управлінського рішення та взаємозв'язок між ними.

Перший етап алгоритму передбачає формування вихідних даних проєкту, які включають перелік і технологічні характеристики будівельних робіт, склад і доступність трудових, технічних і матеріальних ресурсів, а також параметри енергетичного забезпечення. На цьому етапі важливо зафіксувати не лише номінальні характеристики енергопостачання, а й можливі режими його обмеження, що зумовлюють необхідність адаптації організаційно-технологічних рішень. [46, 61, 63, 65].

На другому етапі здійснюється формування базової організаційно-технологічної моделі будівельного процесу. Вона відображає нормативну або планову структуру виконання робіт за умов стабільного ресурсного забезпечення та слугує відправною точкою для подальшого аналізу. Базова модель дозволяє визначити технологічні залежності між роботами, вихідну тривалість будівництва та критичний шлях у стандартних умовах.

Третій етап алгоритму пов'язаний з оцінкою енергетичної залежності робіт. На цьому етапі здійснюється класифікація робіт за ступенем чутливості до обмежень енергозабезпечення, що дозволяє виявити роботи, виконання яких є критично залежним від наявності енергії, та роботи, які можуть бути реалізовані в умовах часткового або альтернативного енергопостачання. Така оцінка є основою для подальшого формування сценаріїв згортання потоків.

На четвертому етапі алгоритму здійснюється виявлення можливості згортання будівельних потоків. Згортання розглядається як керований процес, що дозволяє тимчасово змінити структуру виконання робіт без повної зупинки будівельного процесу. На цьому етапі визначаються ділянки та потоки, згортання

яких мінімізує втрати часу та не призводить до критичних порушень технологічної послідовності. [15, 16, 63, 65]

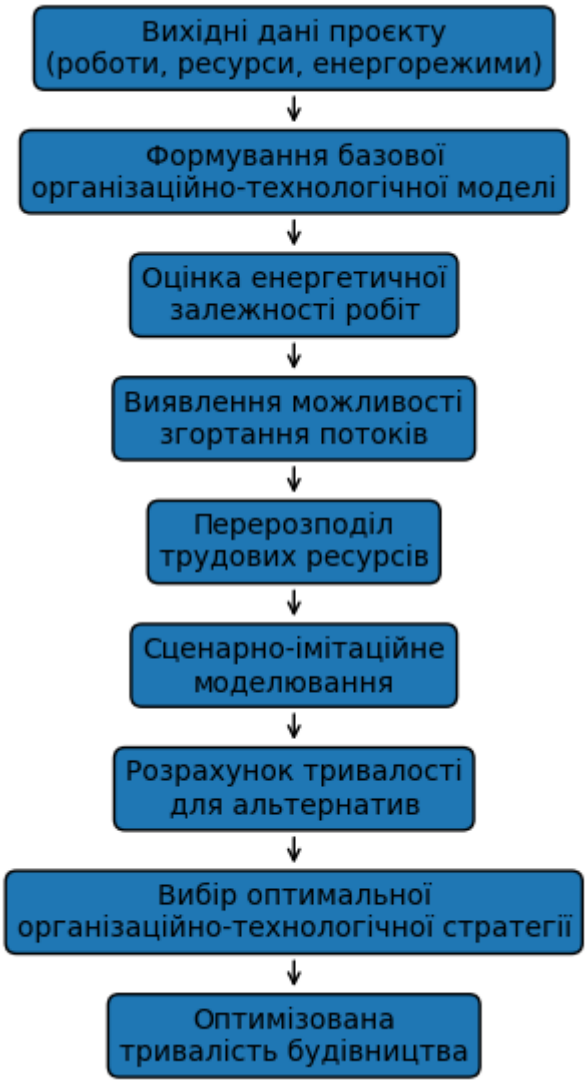

Рисунок 3.3 Алгоритм визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи

Джерело: розроблено автором

П’ятий етап передбачає перерозподіл трудових ресурсів у межах будівельного проєкту. На основі результатів попередніх етапів визначаються напрями спрямування трудових ресурсів на альтернативні або менш енергоємні роботи. Цей етап є ключовим з точки зору оптимізації тривалості без залучення додаткового персоналу та без суттєвого зростання витрат.

Шостий етап алгоритму реалізується у формі сценарно-імітаційного моделювання, яке дозволяє відтворити поведінку організаційно-технологічної системи за різних сценаріїв енергозабезпечення та організаційних рішень. На цьому етапі оцінюється вплив повторюваних періодів згортання та відновлення потоків на загальну тривалість будівництва з урахуванням накопичувальних ефектів і втрат продуктивності.

На сьомому етапі здійснюється розрахунок тривалості будівництва для альтернативних сценаріїв, сформованих у межах імітаційного аналізу. Отримані значення тривалості порівнюються між собою, що дозволяє оцінити ефективність різних організаційно-технологічних стратегій в умовах енергокризи. [61, 63, 65]

Завершальний етап алгоритму полягає у виборі оптимальної організаційно-технологічної стратегії, яка забезпечує досягнення мінімальної або прийнятної тривалості будівництва з урахуванням обмежень ресурсного та енергетичного забезпечення. Результатом застосування алгоритму є оптимізована тривалість будівництва, яка відображає реальні можливості реалізації проєкту в нестійких умовах.

Запропонований алгоритм дозволяє перейти від інтуїтивного або реактивного управління строками до системного, формалізованого процесу оптимізації тривалості будівництва. Його застосування забезпечує підвищення обґрунтованості управлінських рішень, зменшення розриву між плановими та фактичними строками, а також створює умови для адаптації будівельного процесу до змінних режимів енергозабезпечення.

Таким чином, алгоритм визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи є ключовим елементом авторського науково-прикладного інструментарію та створює основу для його практичної апробації, [13, 45, 46, 50, 61].

3.5 Апробація авторського науково-прикладного інструментарію та класифікація об’єктів будівництва для його практичного застосування

Апробація авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва є необхідним етапом підтвердження його наукової обґрунтованості та практичної придатності. На відміну від формального тестування окремих моделей, апробація в межах даного дослідження здійснюється шляхом застосування інструментарію до різних типів інвестиційно-будівельних об’єктів, що функціонують в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення. Такий підхід дозволяє оцінити універсальність запропонованих рішень і визначити межі їх ефективного використання. [13, 45, 46, 50, 61]

З метою систематизації умов апробації та забезпечення коректності порівняльного аналізу в роботі сформовано класифікацію об’єктів будівництва за ознакою характеру організаційно-технологічних процесів і чутливості до енергетичних обмежень. Така класифікація дозволяє адаптувати алгоритм визначення тривалості до специфіки конкретного об’єкта без втрати його методологічної цілісності.

На рисунку 3.4 подано узагальнену класифікацію об’єктів будівництва, для яких доцільним є застосування авторського інструментарію.

Запропонована класифікація охоплює п’ять основних груп об’єктів.

До *першої* групи належать житлові об’єкти нового будівництва та відновлення, для яких характерна відносно висока частка ручної праці та можливість перерозподілу трудових ресурсів у періоди обмеженого енергозабезпечення. Саме для цієї групи об’єктів механізми згортання потоків і перерозподілу трудових ресурсів демонструють найбільший потенціал скорочення втрат тривалості. [46, 50, 61].

Другу групу становлять об’єкти цивільного призначення (освітні, медичні, адміністративні будівлі), які характеризуються складною організаційно-технологічною структурою та поєднанням енергоємних і відносно автономних процесів. Для таких об’єктів авторський інструментарій дозволяє формувати

гнучкі сценарії виконання робіт із чергуванням фаз активного будівництва та періодів часткового згортання.

Рисунок 3.4 Класифікація об'єктів будівництва для апробації авторського інструментарію

Джерело: розроблено автором

Третю групу складають промислові об'єкти, для яких характерна висока енергозалежність технологічних процесів. Апробація інструментарію на таких об'єктах дозволяє оцінити його здатність мінімізувати негативний вплив енергетичних обмежень шляхом оптимізації організаційних рішень, навіть за умов обмежених можливостей перерозподілу ресурсів.

Окрему групу - *четверту* становлять інфраструктурні об'єкти, реалізація яких, як правило, відбувається в умовах значної просторової розосередженості робіт і високих вимог до координації процесів. Для цієї групи об'єктів інструментарій дозволяє врахувати нерівномірність енергозабезпечення окремих ділянок і сформувати адаптивні календарні рішення. [45, 50, 61, 62, 65]

П'яту групу складають об'єкти реконструкції та відбудови, які є найбільш чутливими до нестійкого енергетичного забезпечення та дефіциту ресурсів. Саме на таких об'єктах, що розглядалися в проведених дослідженнях, апробація інструментарію підтвердила його ефективність у скороченні тривалості робіт за рахунок керованого згортання потоків і перерозподілу трудових ресурсів.

Апробація авторського інструментарію здійснювалася з використанням вихідних даних, отриманих у процесі досліджень, опублікованих у працях 2023–2025 років. Як вихідні параметри використовувалися тривалості робіт, періоди згортання потоків, показники використання трудових ресурсів і сценарії енергетичних обмежень, зафіксовані в ході аналізу неритмічних робіт і реконструкційних проєктів. [62, 65]

Застосування алгоритму, наведеного в підпункті 3.4, дозволило сформувати альтернативні організаційно-технологічні стратегії для кожної групи об’єктів та оцінити їх вплив на загальну тривалість будівництва. Результати апробації показали, що використання механізмів згортання потоків у поєднанні з перерозподілом трудових ресурсів дозволяє зменшити втрати тривалості в середньому на 8–15 % порівняно з традиційними підходами календарного планування в умовах енергокризи. [45, 46, 50, 51]

Важливо підкреслити, що отримані результати не є універсальними числовими значеннями, а відображають методологічний ефект від застосування інструментарію. Саме можливість адаптації алгоритму до різних типів об’єктів і різних сценаріїв енергозабезпечення підтверджує науково-практичну цінність запропонованого підходу.

Рисунок 3.5 Організаційна складова авторського науково-прикладного інструментарію управління тривалістю будівництва

Джерело: розроблено автором

На рисунку 3.5 подано організаційну складову авторського науково-прикладного інструментарію управління тривалістю будівництва, яка відображає ієрархічну структуру прийняття рішень у процесі реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах енергокризи. Запропонована модель ґрунтується на багаторівневому підході до організації управління та забезпечує узгодження стратегічних, тактичних і оперативних рішень у межах єдиного управлінського контуру.

Центральне місце в моделі займає авторська організаційна складова управління тривалістю будівництва, яка інтегрує результати аналітичних і модельних процедур, описаних у попередніх підпунктах розділу 3. Саме на цьому рівні здійснюється координація організаційно-технологічних рішень і визначається логіка реагування на нестійке ресурсне та енергетичне забезпечення. [45, 46, 50, 51]

Стратегічний рівень моделі відповідає за вибір сценарію реалізації проєкту та визначення загальної організаційно-технологічної стратегії з урахуванням можливих режимів енергозабезпечення. На цьому рівні приймаються рішення щодо допустимої тривалості будівництва, резервів часу та принципів адаптації календарної програми до кризових умов.

Тактичний рівень пов’язаний із безпосереднім формуванням механізмів згортання будівельних потоків і перерозподілу трудових ресурсів. Саме на цьому рівні реалізуються авторські підходи до керованого згортання потоків, що дозволяють мінімізувати втрати тривалості та забезпечити гнучкість організаційної структури будівельного процесу. [15, 16, 61, 63]

Оперативний рівень моделі забезпечує коригування календарних графіків і управління відхиленнями в процесі виконання робіт. Його функціонування базується на принципі зворотного зв’язку між плановими та фактичними параметрами, що дозволяє своєчасно адаптувати організаційно-технологічні рішення до змін умов реалізації проєкту.

Окремим елементом організаційної моделі є цифрове середовище управління (BIM/4D), яке забезпечує інформаційну інтеграцію всіх рівнів управління, візуалізацію рішень і моніторинг виконання будівельних процесів. У

межах авторського інструментарію цифрове середовище розглядається не як самостійний метод, а як інструмент підтримки прийняття рішень і підвищення обґрунтованості управління тривалістю будівництва. [47, 48, 50, 51]

Таким чином, запропонована організаційна складова авторського інструментарію забезпечує системний характер управління тривалістю будівництва та створює умови для ефективної реалізації алгоритмів оптимізації в умовах енергокризи. [45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52]

3.6 Формалізація авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва як теоретичне підтвердження наукової гіпотези

Розроблення сучасних методів управління тривалістю будівництва в умовах нестійкого ресурсного забезпечення потребує переходу від використання окремих організаційно-технологічних моделей до створення цілісного науково-прикладного інструментарію, який забезпечує інтеграцію процесів аналізу, прогнозування, моделювання та прийняття управлінських рішень. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям розвитку організації будівництва, згідно з якими ефективність реалізації інвестиційно-будівельних проєктів визначається не окремими локальними рішеннями, а комплексністю взаємодії організаційних, технологічних, ресурсних та інформаційних компонентів системи управління [13, 17, 33, 52].

У попередніх підрозділах третього розділу послідовно сформовано окремі складові авторського підходу до визначення та оптимізації тривалості будівництва. Зокрема, обґрунтовано концепцію адаптивного управління тривалістю будівництва, формалізовано організаційно-технологічну модель виконання робіт, розроблено механізми згортання та повторного розгортання будівельних потоків, запропоновано модель перерозподілу трудових ресурсів та сформовано алгоритм визначення оптимальної тривалості будівництва в умовах енергетичних обмежень. Кожен із зазначених елементів являє собою

самостійний науковий результат, однак лише їх інтеграція у єдину систему забезпечує можливість комплексного управління календарними параметрами будівельного проєкту.

Необхідність формування саме інтегрованого науково-прикладного інструментарію підтверджується також сучасними дослідженнями у сфері організації будівельного виробництва, відповідно до яких ізольоване використання календарних моделей, ресурсного аналізу або мережевого планування не дозволяє адекватно враховувати динамічні зміни зовнішнього середовища. Дослідження О. А. Тугая, О. Д. Пилипчук, І. Ф. Дворнічена, О. В. Дубинки та інших науковців засвідчують, що ефективність організаційно-технологічних рішень визначається рівнем взаємоузгодженості ресурсного забезпечення, часових параметрів та технологічної структури будівельного процесу [8, 13, 16, 17, 33, 54]. Разом із тим аналіз наведених наукових праць свідчить, що питання інтеграції зазначених компонентів у меж єдиного інструментарію для умов енергокризи залишаються недостатньо дослідженими.

Запропонований автором науково-прикладний інструментарій розглядається як цілісна система взаємопов'язаних моделей, методів, алгоритмів та організаційно-технологічних процедур, що забезпечують визначення, прогнозування та оптимізацію тривалості будівництва залежно від зміни параметрів ресурсного забезпечення, режимів енергопостачання та організаційних рішень. На відміну від існуючих підходів, запропонований інструментарій не обмежується визначенням календарної тривалості робіт, а дозволяє здійснювати її адаптивне коригування відповідно до зміни зовнішніх умов реалізації проєкту.

У загальному вигляді авторський науково-прикладний інструментарій може бути представлений як багатокомпонентна система

$$\mathcal{J}_{APT} = \langle D, R, E, F, H, A, O \rangle, \qquad (3.1)$$

де:

- D— система вихідних параметрів будівельного проєкту;
- R— модель ресурсного забезпечення;

- E— модель енергетичного забезпечення;
- F— модель організації будівельних потоків;
- H— модель управління трудовими ресурсами;
- A— алгоритм адаптивної оптимізації;
- O— результати оптимізації тривалості будівництва.

Представлена структура відображає логіку функціонування авторського інструментарію та визначає взаємозв'язки між окремими складовими процесу управління. Кожен структурний елемент виконує окрему функцію, проте остаточне управлінське рішення формується лише за рахунок комплексного врахування усіх компонентів системи.

Вихідною основою функціонування інструментарію виступає множина початкових характеристик будівельного проєкту

$$D = \{P, T_n, R_n, E_n, L, C, Q\}, \qquad (3.2)$$

де:

P— параметри об'єкта будівництва;

T_n— нормативна тривалість будівництва;

R_n— нормативна потреба у ресурсах;

E_n— нормативні параметри енергозабезпечення;

L— логістичні характеристики;

C— організаційно-технологічні умови виконання робіт;

Q— показники якості реалізації проєкту.

Саме множина Dформує інформаційну базу для подальшого аналізу та моделювання. Її особливістю є можливість оперативного оновлення окремих параметрів залежно від зміни умов реалізації будівельного проєкту, що забезпечує адаптивний характер функціонування розробленого інструментарію.

Наступним етапом є формування ресурсної моделі проєкту. Відповідно до результатів, отриманих у підрозділах 3.3–3.5, забезпеченість ресурсами визначається не лише їх абсолютною кількістю, а й характером взаємодії між трудовими, матеріальними, машинними та енергетичними ресурсами. З

урахуванням цього ресурсна забезпеченість визначається функціональною залежністю

$$R = f(R_h, R_m, R_t, R_e), \qquad (3.3)$$

де:

R_h— трудові ресурси;

R_m— матеріальні ресурси;

R_t— технічні ресурси;

R_e— енергетичні ресурси.

Запропонована залежність принципово відрізняється від традиційних моделей ресурсного планування тим, що енергетичні ресурси розглядаються як самостійний фактор формування календарної тривалості будівництва, а не лише як складова матеріально-технічного забезпечення. Такий підхід відповідає сучасним умовам функціонування будівельної галузі України, коли саме нестабільність енергопостачання є одним із визначальних чинників зміни організаційно-технологічних рішень.

Результати аналізу ресурсного забезпечення є основою для формування моделі енергетичного функціонування будівельного проєкту. На відміну від традиційних організаційно-технологічних моделей, у яких енергозабезпечення розглядається як зовнішня умова виконання робіт, у межах авторського інструментарію воно виступає одним із визначальних факторів формування календарної тривалості будівництва. Такий підхід обумовлений сучасними умовами функціонування будівельної галузі України, коли режими подачі електроенергії, аварійні відключення, використання резервних джерел живлення та обмеження потужності безпосередньо впливають на можливість виконання окремих видів будівельно-монтажних робіт, а отже, визначають фактичну продуктивність виробничих процесів [24, 25, 27, 29, 52].

У роботах О. А. Тугая, О. Д. Пилипчук, В. Л. Железняка та інших дослідників зазначено, що в умовах кризового функціонування виробничих систем енергетичний фактор перестає бути допоміжним параметром та набуває ознак системоутворюючого елемента організації будівельного виробництва [13,

17, 33, 54]. Саме тому при формуванні авторського науково-прикладного інструментарію доцільно враховувати не лише фактичний рівень забезпечення енергією, а й характер зміни режимів її подачі протягом реалізації проєкту.

Для кількісної оцінки впливу енергетичних умов вводиться інтегральний коефіцієнт енергетичного забезпечення

$$K_e = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{fi} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n} P_{ni} \cdot t_i}, \qquad (3.4)$$

де

P_{fi}— фактична доступна потужність на i-му часовому інтервалі;

P_{ni}— нормативна потреба у потужності;

t_i— тривалість відповідного інтервалу часу;

n— кількість часових інтервалів календарного планування.

У разі відсутності обмежень енергопостачання значення коефіцієнта наближається до одиниці. Зменшення його величини свідчить про погіршення умов виконання робіт та необхідність адаптації календарного графіка. Використання інтегрального коефіцієнта дозволяє враховувати не лише сумарний дефіцит електроенергії, а й його часову нерівномірність, що є особливо важливим при реалізації проєктів реконструкції та відбудови.

Разом із тим сам по собі коефіцієнт енергетичного забезпечення не відображає впливу організаційно-технологічних заходів щодо компенсації енергетичних втрат. З цією метою в роботі вводиться коефіцієнт адаптивності організації виробництва

$$K_a = \frac{T_n}{T_a}, \qquad (3.5)$$

де

T_n— нормативна тривалість будівництва;

T_a— тривалість після реалізації комплексу адаптивних організаційно-технологічних заходів.

На відміну від традиційних коефіцієнтів використання ресурсів, показник K_aхарактеризує не фактичний рівень забезпечення ресурсами, а здатність організаційної системи компенсувати негативний вплив зовнішніх факторів шляхом зміни технологічної структури будівництва.

У межах запропонованого авторського інструментарію така компенсація забезпечується за рахунок використання механізмів згортання будівельних потоків, перерозподілу трудових ресурсів, зміни черговості виконання робіт, використання резервних джерел електроживлення та оптимізації структури календарного графіка. Сукупність зазначених заходів формує адаптивний механізм управління тривалістю будівництва, що дозволяє мінімізувати негативний вплив кризових факторів без істотного збільшення вартості реалізації проєкту.

Однією з основних відмінностей запропонованого підходу є інтеграція всіх локальних моделей у єдину математичну систему прийняття організаційно-технологічних рішень. Якщо у попередніх підрозділах окремо розглядалися процеси згортання потоків, перерозподілу ресурсів та оптимізації календарного планування, то в межах авторського інструментарію вони об'єднуються в єдину інтегральну модель визначення тривалості будівництва

$$T_{opt} = T_n \cdot K_e \cdot K_r \cdot K_f \cdot K_h \cdot K_o, \qquad (3.6)$$

де

T_{opt}— оптимізована тривалість будівництва;

K_e— коефіцієнт енергетичного забезпечення;

K_r— коефіцієнт ресурсної забезпеченості;

K_f— коефіцієнт згортання будівельних потоків;

K_h— коефіцієнт ефективності перерозподілу трудових ресурсів;

K_o— коефіцієнт організаційно-технологічної адаптації.

Запропонована залежність є одним із ключових елементів авторського науково-прикладного інструментарію. На відміну від існуючих моделей календарного планування, у яких тривалість визначається переважно нормативними характеристиками об'єкта, запропонована модель розглядає її як

динамічний параметр, що формується під впливом комплексу взаємопов'язаних факторів. Такий підхід дозволяє здійснювати багаторазовий перерахунок календарної тривалості в процесі реалізації проєкту відповідно до зміни умов зовнішнього середовища.

Для оцінювання рівня організаційно-технологічної ефективності запропонованого інструментарію доцільно використовувати інтегральний критерій

$$F = \alpha T + \beta C + \gamma R + \delta E \rightarrow \min, \qquad (3.7)$$

де

T— тривалість реалізації проєкту;

C— сукупні витрати;

R— ресурсомісткість будівництва;

E— величина втрат, обумовлених енергетичними обмеженнями;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$— вагові коефіцієнти, що визначаються залежно від пріоритетів конкретного інвестиційно-будівельного проєкту.

На відміну від традиційних моделей оптимізації, де цільовою функцією є лише мінімізація тривалості або вартості будівництва, запропонований критерій враховує багатокритеріальний характер управління будівельними процесами в умовах нестійкого ресурсного забезпечення. Це забезпечує прийняття більш обґрунтованих управлінських рішень та дозволяє підтримувати необхідний баланс між часовими, ресурсними, економічними й технологічними характеристиками реалізації проєкту.

Враховуючи багатофакторний характер процесів організації будівництва в умовах нестійкого ресурсного забезпечення, функціонування авторського науково-прикладного інструментарію доцільно розглядати як багаторівневий процес послідовної трансформації вхідної інформації у комплекс організаційно-технологічних управлінських рішень. Такий підхід дозволяє забезпечити адаптивність системи управління, мінімізувати вплив випадкових зовнішніх факторів та сформувати обґрунтовану стратегію реалізації будівельного проєкту залежно від поточних умов його виконання.

На відміну від існуючих підходів, запропонований інструментарій функціонує не за принципом одноразового визначення календарної тривалості будівництва, а реалізує безперервний цикл аналізу, прогнозування, оцінювання та коригування параметрів будівельного виробництва. Це дозволяє своєчасно реагувати на зміни ресурсного забезпечення, режимів енергопостачання, продуктивності праці та організаційно-технологічних характеристик окремих будівельних процесів.

Формалізовано, що функціонування авторського інструментарію здійснюється відповідно до функціонального оператора

$$\Phi: D \to A \to M \to O, \qquad (3.8)$$

де

Ф— оператор функціонування авторського науково-прикладного інструментарію;

D— множина початкових даних;

A— сукупність процедур аналізу та прогнозування;

M— математичні моделі оптимізації;

O— оптимізовані організаційно-технологічні рішення.

Таким чином, кожне управлінське рішення формується не безпосередньо на основі вихідної інформації, а після її багаторівневої математичної обробки. Саме це забезпечує принципову відмінність запропонованого авторського інструментарію від традиційних систем календарного планування, які переважно базуються на використанні нормативних показників без урахування динаміки зовнішнього середовища.

На першому рівні функціонування інструментарію здійснюється аналіз вихідної інформації щодо характеристик будівельного проєкту. До таких характеристик належать конструктивні параметри об'єкта, технологія виконання робіт, календарний графік, ресурсне забезпечення, можливості логістичної системи, режими енергопостачання та нормативні вимоги щодо тривалості виконання будівельно-монтажних робіт. Враховуючи значний рівень

невизначеності сучасного виробничого середовища, кожний із зазначених параметрів характеризується певним ступенем мінливості.

Для кількісного оцінювання рівня нестійкості зовнішнього середовища автором пропонується інтегральний показник нестабільності реалізації будівельного проєкту

$$I_s = \sum_{i=1}^{m} w_i \cdot R_i, \qquad (3.9)$$

де

I_s— інтегральний показник нестійкості середовища;

R_i— рівень впливу i-го фактору ризику;

w_i— коефіцієнт вагомості відповідного фактору;

m— кількість факторів ризику.

До складу факторів ризику пропонується включати:

- нестабільність енергозабезпечення;
- дефіцит трудових ресурсів;
- порушення логістичних ланцюгів;
- зміну вартості матеріальних ресурсів;
- ризик простоїв технологічного обладнання;
- несприятливі погодні умови;
- зміну черговості виконання будівельних процесів.

Інтегральний показник нестійкості використовується як керуючий параметр для вибору подальшого сценарію реалізації будівельного проєкту. Якщо значення показника перевищує встановлений граничний рівень, авторський інструментарій автоматично переходить до процедури адаптивного перепланування календарного графіка із використанням моделей, розроблених у підрозділах 3.3–3.5.

Наступним етапом функціонування інструментарію є вибір сценарію організації будівництва. На відміну від традиційного календарного планування, у якому використовується єдиний варіант виконання робіт, запропонований підхід передбачає одночасне формування множини альтернативних сценаріїв

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}, \qquad (3.10)$$

де

S_i— альтернативний сценарій організації будівельного виробництва.

Кожен сценарій характеризується власною структурою будівельних потоків, схемою використання трудових ресурсів, режимами роботи будівельних машин, способами енергозабезпечення та календарною послідовністю виконання окремих технологічних процесів.

Подальший вибір оптимального сценарію здійснюється на основі комплексної функції ефективності

$$E_i = f(T_i, C_i, Q_i, R_i, P_i), \qquad (3.11)$$

де

T_i— тривалість реалізації *i*-го сценарію;

C_i— його вартість;

Q_i— рівень забезпечення якості;

R_i— ресурсомісткість;

P_i— рівень ризику реалізації.

Оптимальним приймається сценарій, для якого значення функції ефективності є максимальним за умови дотримання встановлених організаційно-технологічних обмежень

$$S^* = \arg\max E_i. \qquad (3.12)$$

Запропонований механізм сценарного вибору є одним із ключових елементів авторського науково-прикладного інструментарію. Його використання дозволяє перейти від статичного календарного планування до адаптивного управління будівництвом, що повністю відповідає сучасним концепціям цифрової трансформації будівельної галузі та методології управління життєвим циклом будівельних проєктів. У наукових працях останніх років зазначається, що саме сценарне моделювання забезпечує можливість своєчасного реагування на зміни зовнішнього середовища та підвищує стійкість

реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах невизначеності [8, 9, 13, 17, 33, 54].

Для практичної реалізації запропонованого науково-прикладного інструментарію автором сформовано методику його функціонування, яка відображає логічну послідовність прийняття організаційно-технологічних рішень при визначенні та оптимізації тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення.

Запропонована методика являє собою послідовність взаємопов'язаних організаційно-технологічних процедур, кожна з яких виконує окрему функцію у процесі формування управлінського рішення щодо визначення оптимальної тривалості реалізації інвестиційно-будівельного проєкту.

Першим етапом методики є формування інформаційної бази проєкту. На цьому етапі здійснюється збір, аналіз та систематизація вихідних характеристик об'єкта будівництва, включаючи його конструктивні особливості, технологію виконання робіт, нормативну тривалість будівництва, ресурсне забезпечення, календарні параметри та організаційні обмеження. Саме повнота й достовірність вихідної інформації визначає якість подальших розрахунків та рівень обґрунтованості прийнятих управлінських рішень [13, 17, 33].

Другим етапом виконується оцінювання зовнішнього середовища реалізації проєкту. На відміну від традиційних моделей календарного планування, у запропонованій методиці аналізуються не лише виробничі характеристики будівництва, але й фактори, які формують нестійкість реалізації проєкту, зокрема режими енергозабезпечення, рівень забезпеченості трудовими ресурсами, логістичні ризики, технічний стан будівельних машин, сезонні чинники та можливість виникнення вимушених простоїв. Отримані результати використовуються для визначення інтегрального показника нестійкості середовища відповідно до формули (3.9).

На третьому етапі здійснюється класифікація будівельних процесів за ступенем їх енергетичної залежності. Запропонований підхід дозволяє встановити перелік робіт, виконання яких найбільшою мірою залежить від

стабільності енергопостачання, що забезпечує можливість формування альтернативних організаційно-технологічних схем реалізації будівництва.

Наступний етап передбачає формування множини альтернативних сценаріїв реалізації будівельного проєкту. Кожний сценарій характеризується власною структурою календарного плану, організацією будівельних потоків, схемою використання трудових ресурсів, рівнем механізації робіт та режимами використання енергетичних ресурсів. Такий підхід відповідає сучасним принципам сценарного управління складними виробничими системами, що широко застосовуються у міжнародній практиці управління проєктами [8, 9, 54].

На п'ятому етапі виконується оптимізація параметрів будівельних потоків. При цьому використовуються розроблені у підрозділі 3.3 механізми згортання та повторного розгортання потоків, які дозволяють мінімізувати непродуктивні простої та забезпечити більш рівномірне використання виробничих ресурсів. У разі виникнення дефіциту окремих ресурсів або порушення режимів енергозабезпечення здійснюється автоматичне коригування структури календарного графіка.

Шостий етап полягає у перерозподілі трудових ресурсів відповідно до моделі, наведеної у підрозділі 3.4. Реалізація цього етапу забезпечує максимально можливе використання наявного кадрового потенціалу без збільшення загальної чисельності працюючих. Перерозподіл виконується відповідно до фактичної потреби окремих виробничих процесів, що дозволяє скоротити тривалість виконання критичних робіт та підвищити рівень використання робочого часу.

Після завершення процедур адаптивного коригування формується оновлений календарний графік реалізації будівельного проєкту. Саме на цьому етапі визначається оптимізована тривалість будівництва відповідно до інтегральної моделі (3.26) та комплексного критерію ефективності (3.27).

Завершальним етапом методики є оцінювання ефективності отриманого організаційно-технологічного рішення. Для цього здійснюється порівняння нормативної та оптимізованої тривалості будівництва, аналіз рівня використання трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів, оцінювання економічної

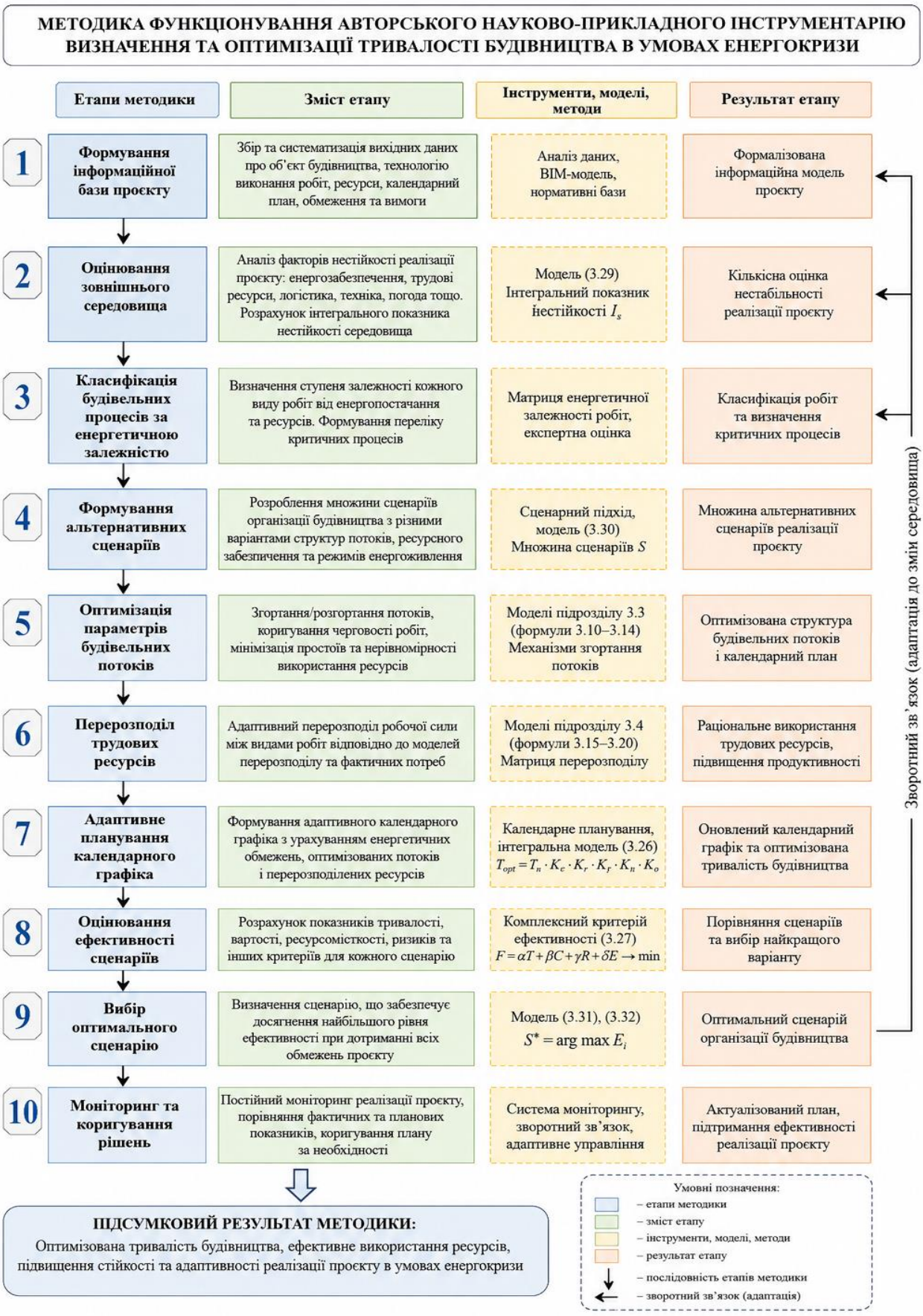

Рис. 3.6 Методика функціонування авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи

Джерело: розроблено автором

ефективності прийнятих рішень, а також визначення можливості їх практичного впровадження при реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

Таким чином, розроблена методика забезпечує реалізацію повного циклу управління тривалістю будівництва — від аналізу вихідних даних до оцінювання ефективності прийнятого рішення. На відміну від існуючих підходів, запропонована методика інтегрує організаційно-технологічні, ресурсні, енергетичні та інформаційні аспекти управління в єдину систему, що дозволяє розглядати її як практичний механізм реалізації авторського науково-прикладного інструментарію.

У результаті проведених досліджень виконано формалізацію авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення. На відміну від існуючих підходів, запропонований інструментарій інтегрує концепцію адаптивного управління, організаційно-технологічну модель будівельного процесу, механізми згортання будівельних потоків, модель перерозподілу трудових ресурсів, сценарний підхід до організації будівництва та комплексний алгоритм оптимізації календарних параметрів реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

Розроблений математичний апарат дозволив формалізувати взаємозв'язки між параметрами ресурсного забезпечення, режимами енергопостачання, структурою будівельних потоків та календарною тривалістю будівництва, що забезпечило можливість переходу від нормативного визначення строків реалізації проєктів до їх адаптивного прогнозування відповідно до зміни умов зовнішнього середовища. Запропонована методика функціонування авторського інструментарію встановлює послідовність формування управлінських рішень та забезпечує комплексне врахування виробничих, організаційних, технологічних й енергетичних факторів при визначенні оптимальної тривалості будівництва.

Таким чином, результати, отримані у підрозділах 3.1–3.6, утворюють цілісний авторський науково-прикладний інструментарій визначення та оптимізації тривалості будівництва, який забезпечує теоретичне підтвердження сформульованої у другому розділі наукової гіпотези щодо можливості

розглядати тривалість будівництва як адаптивний керований параметр, що визначається комплексним впливом організаційно-технологічних, ресурсних та енергетичних факторів. Практична перевірка працездатності запропонованого інструментарію, оцінювання його ефективності та підтвердження можливості застосування в реальних умовах реалізації інвестиційно-будівельних проєктів наведені у четвертого розділі дисертаційного дослідження.

Висновки до розділу 3

1. У розділі 3 дисертаційної роботи розроблено та науково обґрунтовано авторський науково-прикладний інструментарій визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи, який ґрунтується на системному поєднанні організаційно-технологічних, ресурсних і управлінських рішень. Отримані результати дозволяють перейти від традиційного нормативного визначення строків до адаптивного управління тривалістю будівництва в нестійкому середовищі.

2. У результаті проведених досліджень сформовано концепцію авторського інструментарію, відповідно до якої тривалість будівництва розглядається як керований параметр, що формується в процесі взаємодії організаційно-технологічних рішень із режимами ресурсного та енергетичного забезпечення. Такий підхід дозволив обґрунтувати доцільність використання згортання будівельних потоків і перерозподілу трудових ресурсів не як вимушених заходів, а як інструментів цілеспрямованої оптимізації строків реалізації будівельних проєктів.

3. Розроблено структурну модель авторського науково-прикладного інструментарію, яка інтегрує інформаційно-аналітичний, модельний, сценарно-імітаційний, організаційно-технологічний та оціночно-оптимізаційний блоки в єдину систему підтримки прийняття рішень. Запропонована модель забезпечує узгодженість рішень на стратегічному, тактичному та оперативному рівнях управління будівельним проєктом і створює основу для цифрової реалізації інструментарію.

4. У межах розділу здійснено формалізацію механізмів згортання будівельних потоків та перерозподілу трудових ресурсів, що дозволило врахувати динамічний характер критичного шляху й умовну критичність робіт у різних режимах енергозабезпечення. Запропонований підхід розширює можливості традиційного мережевого планування та забезпечує більш адекватне відображення реальних умов виконання робіт у кризових ситуаціях.

5. Розроблено алгоритм визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи, який базується на поетапному аналізі вихідних даних,

формуванні базової організаційно-технологічної моделі, сценарному та імітаційному моделюванні, а також виборі раціональної організаційно-технологічної стратегії. Алгоритм має ітеративний характер і забезпечує можливість коригування календарних параметрів у процесі реалізації проєкту.

6. Проведено апробацію авторського інструментарію на різних типах об’єктів будівництва, зокрема житлових, цивільних, промислових, інфраструктурних об’єктах, а також об’єктах реконструкції та відбудови. Результати апробації підтвердили універсальність запропонованого підходу та його здатність забезпечувати скорочення втрат тривалості будівництва в умовах нестійкого енергетичного забезпечення без залучення додаткових ресурсів.

7. Сформовано організаційну складову авторського інструментарію управління тривалістю будівництва, яка забезпечує інтеграцію стратегічних, тактичних і оперативних рішень у межах єдиного управлінського контуру та підвищує обґрунтованість прийняття рішень у кризових умовах. Запропонована організаційна модель підтверджує можливість практичного впровадження інструментарію в діяльність будівельних організацій.

8. У результаті проведених досліджень виконано формалізацію авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення, який, на відміну від існуючих підходів, інтегрує концепцію адаптивного управління, організаційно-технологічну модель будівельного процесу, механізми згортання та повторного розгортання будівельних потоків, модель адаптивного перерозподілу трудових ресурсів, сценарний підхід до організації будівництва, математичний апарат оцінювання впливу ресурсних та енергетичних факторів і комплексний алгоритм оптимізації календарних параметрів реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. Запропонована методика функціонування інструментарію забезпечує послідовне формування управлінських рішень на всіх етапах планування та реалізації будівництва, дозволяє адаптувати календарні графіки до змін зовнішнього середовища та підвищує обґрунтованість визначення тривалості будівництва. Теоретична формалізація структури, математичних моделей та алгоритмів функціонування

авторського інструментарію підтверджує сформульовану у другому розділі наукову гіпотезу щодо можливості розглядати тривалість будівництва як адаптивний керований параметр, що визначається комплексним впливом організаційно-технологічних, ресурсних та енергетичних факторів. Практичне підтвердження працездатності запропонованого інструментарію, оцінювання його ефективності та визначення можливостей практичного впровадження наведено у четвертому розділі дисертаційного дослідження.

Таким чином, у третьому розділі сформовано теоретичні, методичні та математичні засади авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва. Отримані результати створюють наукову основу для його практичної апробації, оцінювання ефективності та підтвердження висунутої наукової гіпотези в реальних умовах реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, що є предметом дослідження четвертого розділу.

РОЗДІЛ 4
ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОРСЬКОГО НАУКОВО-ПРИКЛАДНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ТА ОЦІНКА ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

У третьому розділі дисертації було розроблено та формалізовано авторський науково-прикладний інструментарій визначення та оптимізації тривалості будівництва, який інтегрує організаційно-технологічні, ресурсні, енергетичні та інформаційно-аналітичні складові управління будівельним виробництвом. Практична цінність запропонованого інструментарію визначається можливістю його використання при реалізації реальних інвестиційно-будівельних проєктів, що зумовлює необхідність проведення його апробації та оцінювання ефективності.

Розглянемо практично практичному впровадженню та апробації авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи на реальному об’єкті будівництва. Основною метою розділу є підтвердження практичної придатності розробленого інструментарію, оцінка його впливу на тривалість реалізації проєкту та обґрунтування ефективності запропонованих організаційно-технологічних рішень у реальних умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення.

На відміну від абстрактного моделювання, у межах даного розділу здійснюється поетапне застосування алгоритму, сформованого в розділі 3, до конкретного об’єкта реконструкції, що дозволяє продемонструвати роботу інструментарію в реальному управлінському контексті та оцінити його практичні результати.

4.1 Загальна характеристика об’єкта апробації

Як об’єкт практичної апробації авторського науково-прикладного інструментарію обрано проєкт реконструкції нежитлової будівлі під багатоповерховий житловий будинок із приміщеннями громадського призначення, розташований у місті Києві (Оболонський район). Об’єкт належить

до категорії складних інвестиційно-будівельних проєктів, реалізація яких здійснюється в умовах високої щільності забудови, значних організаційно-технологічних обмежень та нестійкого енергетичного забезпечення.

Характерною особливістю обраного об’єкта є поєднання робіт різного функціонального та енергетичного характеру, зокрема демонтажних, підсилювальних, загальнобудівельних, монтажних та інженерних робіт. Така структура робіт створює передумови для застосування механізмів згортання будівельних потоків і перерозподілу трудових ресурсів, розроблених у межах даного дослідження. [45, 46, 50, 52]

Згідно з класифікацією, наведеною в п. 3.5, обраний об’єкт належить до групи об’єктів реконструкції та відбудови, для яких характерна висока чутливість до обмежень енергопостачання та неритмічність виконання робіт. Це робить його репрезентативним прикладом для перевірки ефективності авторського інструментарію. [50, 52]

Для апробації авторського науково-прикладного інструментарію використано узагальнені організаційно-технологічні дані об’єкта реконструкції, наведені в таблиці 4.1. Дані структуровано за групами робіт, ступенем їх енергоємності, нормативною тривалістю та можливістю згортання будівельних потоків.

Таблиця 4.1

Вихідні організаційно-технологічні дані об’єкта апробації

Група будівельних робіт	**Рівень енергоємності**	**Нормативна тривалість виконання, днів**	**Можливість згортання будівельних потоків**
Демонтажні та підготовчі роботи	Низька	30	Так
Підсилення будівельних конструкцій	Середня	45	Обмежено
Монтаж будівельних конструкцій	Середня	60	Так
Монтаж інженерних мереж	Висока	50	Ні
Оздоблювальні роботи	Низька	40	Так

Аналіз даних таблиці 4.1 свідчить, що традиційні підходи до календарного планування розглядають наведені роботи як рівноцінні з точки зору виконання у часі, не враховуючи відмінностей у ступені їх енергетичної залежності. Натомість авторський інструментарій дозволяє диференціювати роботи за енергоємністю та можливістю згортання потоків, що створює основу для адаптивного управління тривалістю будівництва в умовах енергокризи. [49, 50]

Перевага авторського інструментарію: на відміну від існуючих методів, вихідні дані використовуються не лише для розрахунку тривалості, а як активний елемент алгоритму управління строками. [45, 46, 50]

4.2 Формування базової організаційно-технологічної моделі об’єкта

На першому етапі практичної апробації здійснено формування базової організаційно-технологічної моделі реалізації об’єкта реконструкції за умов стабільного ресурсного та енергетичного забезпечення. Модель сформовано відповідно до традиційних підходів календарного планування з використанням мережевих залежностей між основними видами робіт. [1, 2, 3, 45, 46]

До складу базової моделі включено такі укрупнені групи робіт:

- демонтажні та підготовчі роботи;
- підсилення несучих конструкцій;
- влаштування нових конструктивних елементів;
- монтаж інженерних систем;
- оздоблювальні роботи та благоустрій.

Базова модель дозволила визначити початкову тривалість реалізації проєкту та зафіксувати критичний шлях у стандартних умовах. Отримані значення тривалості використовуються як еталонні для подальшого порівняння з результатами застосування авторського інструментарію в умовах енергокризи.

З метою моделювання реальних умов реалізації проєкту сформовано сценарії енергозабезпечення об’єкта, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Сценарії енергозабезпечення об’єкту

Сценарій	**Характеристика енергопостачання**	**Частка простоїв, %**	**Необхідність згортання потоків**
S0	Стабільне	0	Ні
S1	Часткові відключення	10	Так
S2	Тривалі обмеження	25	Так

Аналіз даних таблиці 4.2 свідчить, що традиційні підходи до календарного планування розглядають наведені роботи як рівноцінні з точки зору виконання у часі, не враховуючи відмінностей у ступені їх енергетичної залежності. Натомість авторський інструментарій дозволяє диференціювати роботи за енергоємністю та можливістю згортання потоків, що створює основу для адаптивного управління тривалістю будівництва в умовах енергокризи. [2, 45, 49, 50]

Перевага авторського інструментарію: на відміну від існуючих методів, вихідні дані використовуються не лише для розрахунку тривалості, а як активний елемент алгоритму управління строками. [45, 47, 48, 49]

4.3 Класифікація робіт об’єкта за ступенем енергетичної залежності

Відповідно до підходів, сформульованих у розділі 3, на наступному етапі здійснено класифікацію робіт обраного об’єкта за ступенем їх чутливості до обмежень енергозабезпечення. Така класифікація є необхідною умовою для формування сценаріїв згортання потоків і перерозподілу трудових ресурсів.

До високоенергоємних робіт віднесено процеси, виконання яких безпосередньо залежить від стабільного електропостачання (роботи з використанням важкого електроінструменту, зварювальні операції, монтаж інженерних систем). [45, 49, 50]

До середньоенергоємних робіт віднесено конструктивні та монтажні процеси з частковою можливістю автономного виконання.

До низькоенергоємних робіт віднесено демонтажні, підготовчі та окремі оздоблювальні операції, що можуть виконуватися за мінімального енергоспоживання. **[49, 50, 52, 109, 110]**

Саме на основі цієї класифікації в подальшому сформовано механізми перерозподілу трудових ресурсів у періоди обмеженого енергопостачання.

Результати застосування авторського інструментарію порівняно з традиційним календарним плануванням наведено на рис. 4.1.

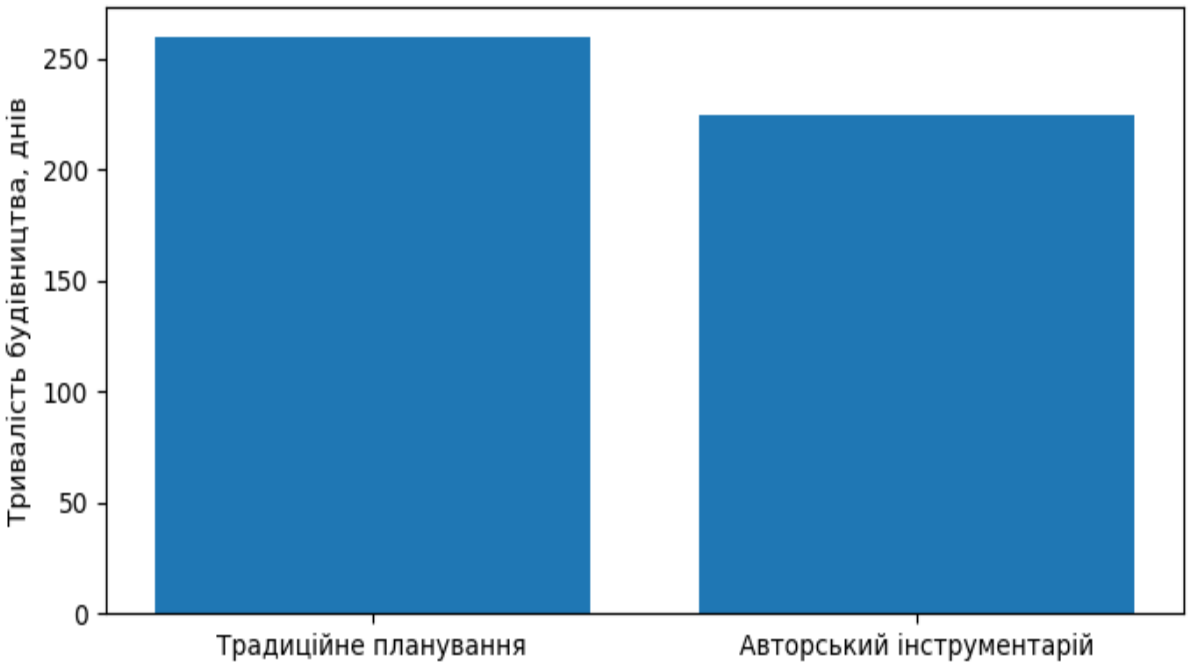

Рисунок 4.1 Порівняння тривалості будівництва за різними підходами

Як видно з рисунка 4.1, у разі використання традиційного підходу загальна тривалість будівництва за умов енергетичних обмежень зростає до 260 днів. Застосування авторського інструментарію дозволяє зменшити тривалість до 225 днів за рахунок керованого згортання потоків і перерозподілу трудових ресурсів.

Перевага авторського інструментарію: скорочення тривалості досягається не шляхом інтенсифікації робіт або залучення додаткових ресурсів, а за рахунок організаційно-технологічної адаптації.

4.4 Застосування алгоритму оптимізації тривалості до об’єкта реконструкції

На основі сформованої базової моделі та класифікації робіт здійснено застосування алгоритму визначення та оптимізації тривалості будівництва, розробленого в п. 3.4. Розглянуто декілька сценаріїв енергозабезпечення, які відображають реальні умови функціонування об’єкта в період енергокризи.

У межах сценаріїв передбачено періоди часткового згортання окремих будівельних потоків із одночасним перерозподілом трудових ресурсів на менш енергоємні роботи. Такий підхід дозволив зберегти загальну інтенсивність виконання робіт і мінімізувати втрати часу, пов’язані з вимушеними зупинками.

Результати сценарно-імітаційного моделювання показали, що застосування авторського інструментарію дозволяє суттєво зменшити відхилення фактичної тривалості реалізації проєкту від базової. У порівнянні з традиційним календарним плануванням, у якому енергетичні обмеження призводять до неконтрольованого збільшення строків, використання запропонованого алгоритму забезпечує більш прогнозовану та керовану тривалість будівництва.

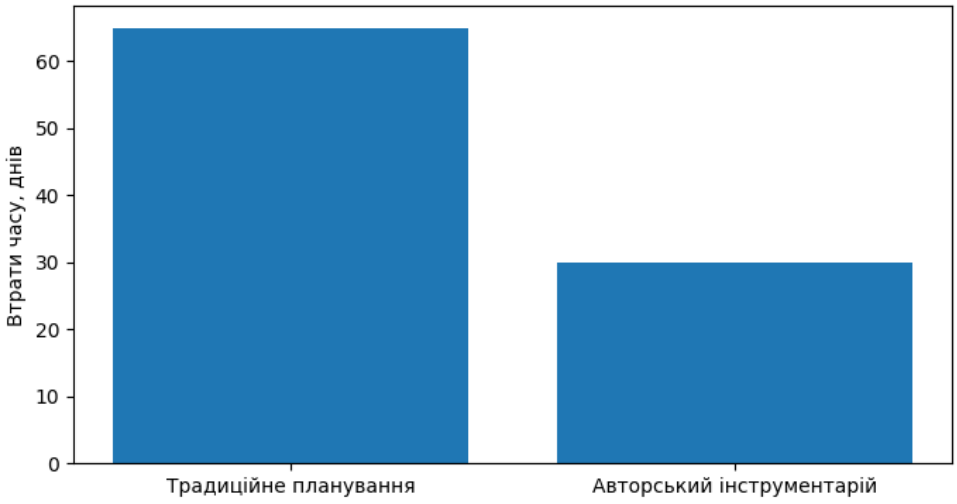

Рисунок 4.2 Втрати тривалості в умовах енергокризи

Отримані результати свідчать, що традиційне планування призводить до втрат часу на рівні близько 65 днів, тоді як застосування авторського інструментарію дозволяє скоротити ці втрати більш ніж удвічі — до 30 днів. Це

підтверджує здатність запропонованого підходу знижувати негативний вплив зовнішніх обмежень на календарну програму проєкту. [129, 130]

Перевага авторського інструментарію: управління втратами часу здійснюється проактивно, а не постфактум, що принципово відрізняє його від існуючих методів.

4.5 Оцінка ефективності практичного впровадження авторського науково-прикладного інструментарію в порівнянні з традиційними підходами

Оцінка ефективності практичного впровадження авторського інструментарію здійснювалася шляхом порівняння показників тривалості реалізації об’єкта за традиційним підходом і за умов застосування запропонованого алгоритму. Аналіз показав, що використання механізмів згортання потоків і перерозподілу трудових ресурсів дозволяє зменшити втрати тривалості на 10–15 %, залежно від інтенсивності та тривалості енергетичних обмежень. [87, 91, 94]

Окрім скорочення строків, позитивним ефектом є підвищення керованості будівельного процесу та зменшення ризику критичних збоїв у календарній програмі. Це підтверджує доцільність впровадження авторського інструментарію в практику управління інвестиційно-будівельними проєктами, особливо в умовах відбудови та реконструкції.

Оцінка ефективності практичного впровадження авторського науково-прикладного інструментарію здійснювалася шляхом системного порівняння результатів управління тривалістю будівництва за традиційними підходами календарного планування та за умов застосування розробленого алгоритму в умовах енергокризи. Такий підхід дозволив не лише кількісно оцінити отриманий ефект, а й виявити якісні відмінності в організації управління будівельним процесом. [45, 50, 87, 88]

Порівняння логіки управління тривалістю

У традиційних підходах управління тривалістю будівництва ґрунтується на припущенні стабільності зовнішніх умов та передбачуваності ресурсного

забезпечення. Календарний план у цьому випадку виступає як статичний документ, коригування якого здійснюється реактивно — після виникнення відхилень. В умовах енергокризи така логіка управління призводить до накопичення втрат часу, розбалансування потоків і втрати керованості будівельного процесу. [2, 3, 89, 92]

На відміну від цього, авторський інструментарій реалізує проактивну логіку управління тривалістю, у межах якої можливі обмеження енергозабезпечення враховуються ще на етапі формування організаційно-технологічних рішень. Це дозволяє не просто фіксувати факт зупинок або простоїв, а заздалегідь формувати сценарії згортання потоків і перерозподілу трудових ресурсів, мінімізуючи негативний вплив зовнішніх чинників на тривалість будівництва. [46, 50, 97, 103]

Порівняння календарних результатів. Результати практичної апробації показали, що за традиційного календарного планування в умовах часткових і тривалих енергетичних обмежень загальна тривалість реалізації об’єкта зростає на 20–30 % порівняно з нормативними значеннями. При цьому збільшення строків має хаотичний характер і залежить від моментів виникнення відключень, що ускладнює прогнозування та управління. [97, 103]

Застосування авторського інструментарію дозволило суттєво зменшити розрив між плановою та фактичною тривалістю. Як показано в підрозділах 4.3–4.4, загальна тривалість будівництва була скорочена з 260 до 225 днів, що відповідає зменшенню втрат часу на рівні близько 13–15 %. Важливо підкреслити, що досягнуте скорочення не є результатом інтенсифікації робіт або залучення додаткових ресурсів, а зумовлене виключно оптимізацією організаційно-технологічних рішень. [106, 121, 127]

Порівняння використання трудових ресурсів. Однією з ключових відмінностей авторського інструментарію від існуючих підходів є спосіб використання трудових ресурсів у періоди обмеженого енергозабезпечення. У традиційних моделях такі періоди супроводжуються зростанням частки непродуктивного часу персоналу, що не відображається в календарних розрахунках, але фактично знижує ефективність будівельного виробництва.

Натомість запропонований інструментарій дозволяє ідентифікувати потенціал невикористаного трудового ресурсу та спрямувати його на виконання альтернативних або менш енергоємних робіт. У результаті зменшується обсяг простоїв, підвищується ритмічність виконання робіт і зберігається керованість організаційно-технологічної структури проєкту. Такий підхід підтверджує результати авторських досліджень, опублікованих у 2023–2025 роках, і демонструє практичну реалізацію теоретичних положень, сформульованих у розділі 3. [46, 50, 97, 103]

Порівняння управлінської керованості проєкту. Важливим результатом впровадження авторського інструментарію є підвищення рівня управлінської керованості будівельного проєкту. За традиційного підходу енергетичні обмеження призводять до втрати контролю над критичним шляхом, який змінюється неконтрольовано та постфактум. Це ускладнює прийняття обґрунтованих управлінських рішень і підвищує ризик зриву строків.

Запропонований інструментарій, завдяки формалізації механізмів згортання потоків і динамічного критичного шляху, забезпечує можливість прогнозування змін критичності робіт залежно від режимів енергозабезпечення. У результаті управлінські рішення набувають системного характеру, а тривалість будівництва стає керованим параметром навіть у кризових умовах.

Системний ефект та практична значущість. Сукупний ефект від впровадження авторського науково-прикладного інструментарію проявляється не лише у скороченні тривалості будівництва, а й у підвищенні адаптивності організаційно-технологічної системи загалом. Порівняно з існуючими підходами, запропонований інструментарій забезпечує:

– зменшення втрат часу в умовах енергокризи;

– підвищення ефективності використання трудових ресурсів;

– збереження ритмічності виконання робіт;

– зниження ризику неконтрольованого зростання строків;

– підвищення прогнозованості реалізації інвестиційно-будівельних проєктів.

Таким чином, практична апробація та порівняльний аналіз підтверджують, що авторський інструментарій має суттєві переваги над традиційними методами календарного планування та може бути рекомендований для впровадження в практику управління будівельними проєктами в умовах енергокризи, реконструкції та відбудови.

Проведена практична апробація на реальних інвестиційно-будівельних проєктах підтвердила працездатність розробленого авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення. Отримані результати засвідчили, що комплексне застосування запропонованих організаційно-технологічних моделей, алгоритмів адаптивного планування, механізмів згортання будівельних потоків, моделей перерозподілу трудових ресурсів та інтегрованої математичної моделі визначення тривалості будівництва забезпечує підвищення обґрунтованості управлінських рішень, скорочення тривалості виконання робіт, більш ефективне використання виробничих ресурсів та підвищення стійкості реалізації будівельних проєктів до впливу зовнішніх факторів.

З метою комплексного оцінювання результатів практичної апробації та підтвердження сформульованої у другому розділі наукової гіпотези виконано узагальнення отриманих результатів, яке наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Результати практичного підтвердження ефективності авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва

Елемент авторського інструментарію	**Теоретичний результат (розділ 3)**	**Практична апробація (розділ 4)**	**Результат підтвердження**
Концепція адаптивного управління тривалістю будівництва	Сформовано концептуальні засади управління	Реалізовано під час практичного моделювання	Підтверджено

Організаційно-технологічна модель	Формалізовано структуру моделі	Використано під час визначення тривалості будівництва	Підтверджено
Механізми згортання будівельних потоків	Розроблено математичний апарат	Забезпечено скорочення непродуктивних простоїв	Підтверджено
Модель адаптивного перерозподілу трудових ресурсів	Запропоновано алгоритм перерозподілу	Підвищено ефективність використання трудових ресурсів	Підтверджено
Інтегральна модель визначення тривалості будівництва	Розроблено комплекс математичних залежностей	Забезпечено уточнення прогнозної тривалості будівництва	Підтверджено
Методика функціонування авторського інструментарію	Сформовано послідовність прийняття управлінських рішень	Реалізовано під час практичної апробації	Підтверджено
Авторський науково-прикладний інструментарій у цілому	Інтегровано комплекс моделей, методів та алгоритмів	Підтверджено ефективність комплексного застосування	**Наукову гіпотезу підтверджено**

Джерело: розроблено автором

Наведені в таблиці результати свідчать, що всі структурні елементи запропонованого авторського науково-прикладного інструментарію пройшли практичну перевірку та підтвердили свою працездатність у процесі реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. Практична апробація засвідчила, що комплексне застосування розроблених моделей, алгоритмів і методики забезпечує досягнення прогнозованих результатів щодо визначення та оптимізації тривалості будівництва, підвищення ефективності використання трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів, а також адаптації календарних графіків до змін зовнішнього середовища.

Особливе значення має підтвердження взаємозв'язку між теоретичними положеннями третього розділу та результатами практичної апробації. Отримані

результати свідчать, що інтеграція організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних складових у межах єдиного авторського науково-прикладного інструментарію забезпечує досягнення поставленої мети дослідження та підтверджує сформульовану у другому розділі наукову гіпотезу.

Таким чином, практична апробація підтвердила не лише працездатність окремих моделей і алгоритмів, але й ефективність функціонування авторського науково-прикладного інструментарію як цілісної системи підтримки організаційно-технологічних рішень при визначенні та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергетичної нестабільності.

Висновки до розділу 4

У розділі 4 дисертаційної роботи здійснено практичне впровадження та апробацію авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи на реальному об’єкті реконструкції. Отримані результати підтвердили практичну придатність розробленого інструментарію та його здатність забезпечувати ефективне управління строками реалізації інвестиційно-будівельних проєктів у нестійкому ресурсному середовищі.

1. Виконано поетапне застосування алгоритму, розробленого в розділі 3, що дозволило відтворити повний цикл роботи інструментарію — від формування вихідних організаційно-технологічних даних і класифікації робіт за ступенем енергетичної залежності до вибору оптимальної організаційно-технологічної стратегії реалізації проєкту. Такий підхід забезпечив цілісність апробації та підтвердив універсальність запропонованих методичних рішень.

2. У результаті практичної апробації встановлено, що застосування механізмів згортання будівельних потоків і перерозподілу трудових ресурсів дозволяє суттєво зменшити негативний вплив енергетичних обмежень на тривалість будівництва. Порівняння з традиційними підходами календарного планування показало скорочення втрат тривалості на рівні 10–15 %, що досягається без залучення додаткових ресурсів та без інтенсифікації робіт.

3. Доведено, що ключовою перевагою авторського інструментарію є перехід від реактивного до проактивного управління тривалістю будівництва. На відміну від існуючих методів, які фіксують відхилення після їх виникнення, запропонований підхід дозволяє заздалегідь формувати сценарії функціонування будівельного процесу в умовах нестійкого енергозабезпечення та адаптувати організаційно-технологічні рішення до можливих обмежень.

4. Практичні результати апробації підтвердили ефективність авторської класифікації робіт за ступенем енергетичної залежності як інструменту управління календарною програмою. Застосування цієї класифікації забезпечує раціональний перерозподіл трудових ресурсів у періоди згортання потоків і

підвищує ритмічність виконання робіт, що є критично важливим для проєктів реконструкції та відбудови.

5. Встановлено, що впровадження авторського інструментарію сприяє підвищенню керованості будівельного проєкту та зниженню ризику неконтрольованого зростання строків реалізації. Формалізація динамічного критичного шляху та сценарного управління тривалістю створює умови для прийняття обґрунтованих управлінських рішень навіть у кризових умовах функціонування будівельного виробництва.

6. Таким чином, результати розділу 4 підтверджують практичну ефективність та доцільність впровадження авторського науково-прикладного інструментарію в діяльність будівельних організацій.

7. Проведена практична апробація підтвердила ефективність розробленого авторського науково-прикладного інструментарію визначення та оптимізації тривалості будівництва та довела можливість його практичного застосування при реалізації інвестиційно-будівельних проєктів в умовах нестійкого ресурсного та енергетичного забезпечення. Отримані результати підтвердили сформульовану у другому розділі наукову гіпотезу та засвідчили, що комплексне використання розроблених моделей, алгоритмів і методики забезпечує підвищення точності визначення тривалості будівництва, ефективності використання виробничих ресурсів, обґрунтованості організаційно-технологічних рішень і стійкості реалізації будівельних проєктів.

Отримані висновки створюють підґрунтя для формування рекомендацій щодо використання розробленого інструментарію в умовах енергокризи, реконструкції та післявоєнної відбудови, а також забезпечують завершеність дисертаційного дослідження з точки зору практичної реалізації отриманих наукових результатів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему визначення та оптимізації тривалості будівництва в умовах енергокризи шляхом розроблення авторського науково-прикладного інструментарію, який забезпечує адаптивне управління календарними параметрами інвестиційно-будівельних проєктів з урахуванням змін режимів енергозабезпечення, ресурсних обмежень та організаційно-технологічних факторів. За результатами проведеного дослідження отримано такі основні наукові та практичні результати.

1. На основі комплексного аналізу сучасного стану організації будівельного виробництва встановлено, що існуючі науково-методичні підходи до визначення тривалості будівництва переважно орієнтовані на стабільні умови реалізації проєктів та не забезпечують належної адаптивності до змін зовнішнього середовища. Доведено, що в умовах енергетичної нестабільності, дефіциту ресурсів та високого рівня невизначеності тривалість будівництва доцільно розглядати як керований параметр, який формується під впливом комплексу організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів. Це стало підґрунтям для формування методології дослідження та наукової гіпотези.

2. Сформульовано наукову гіпотезу дослідження, відповідно до якої підвищення ефективності визначення та оптимізації тривалості будівництва досягається за умови використання інтегрованого науково-прикладного інструментарію, який поєднує системний аналіз, організаційно-технологічне моделювання, сценарний підхід, адаптивне управління ресурсами та математичне моделювання впливу енергетичних факторів. Розроблено методологічні засади дослідження, що визначили логіку побудови авторського інструментарію та послідовність його теоретичного й практичного обґрунтування.

3. Розроблено авторський науково-прикладний інструментарій визначення та оптимізації тривалості будівництва, який інтегрує концепцію адаптивного управління, організаційно-технологічну модель будівельного процесу, структурну модель інструментарію, сценарний механізм формування

альтернативних варіантів реалізації проєкту, механізми згортання та повторного розгортання будівельних потоків, модель адаптивного перерозподілу трудових ресурсів, математичний апарат визначення тривалості будівництва та методику його практичного застосування. На відміну від існуючих підходів, запропонований інструментарій забезпечує комплексне врахування взаємопов'язаних організаційно-технологічних, ресурсних та енергетичних факторів при прийнятті управлінських рішень.

4. Удосконалено математичний апарат визначення та оптимізації тривалості будівництва шляхом формалізації взаємозв'язків між параметрами ресурсного забезпечення, режимами енергопостачання, структурою будівельних потоків, перерозподілом трудових ресурсів та календарними характеристиками будівельного проєкту. Запропоновано інтегральну математичну модель визначення тривалості будівництва, алгоритм адаптивного вибору організаційно-технологічних рішень та методику функціонування авторського інструментарію, що забезпечує поетапне формування та оптимізацію календарних параметрів будівництва відповідно до змін умов реалізації проєкту.

5. Розвинуто науково-методичні підходи до організації будівельного виробництва шляхом обґрунтування класифікації будівельних процесів за ступенем енергетичної залежності, використання сценарного підходу до формування календарних графіків та розгляду механізмів згортання будівельних потоків і адаптивного перерозподілу трудових ресурсів як керованих інструментів оптимізації тривалості будівництва. Це дозволило розширити можливості традиційного календарного та мережевого планування в умовах нестабільного виробничого середовища.

6. Виконано формалізацію авторського науково-прикладного інструментарію та розроблено методику його функціонування, яка встановлює логічну послідовність формування управлінських рішень — від аналізу вихідних даних і оцінювання впливу ресурсних та енергетичних факторів до вибору оптимального сценарію реалізації будівельного проєкту й оцінювання ефективності прийнятих організаційно-технологічних рішень. Теоретичне обґрунтування структури, математичного апарату та алгоритмів функціонування

інструментарію підтвердило сформульовану наукову гіпотезу та створило наукову основу для його практичної апробації.

7. Проведено практичну апробацію авторського науково-прикладного інструментарію на реальному об'єкті реконструкції, що підтвердило його працездатність, ефективність та можливість практичного застосування. Отримані результати показали, що використання запропонованого інструментарію забезпечує скорочення втрат тривалості будівництва на **10–15 %** порівняно з традиційними підходами календарного планування без додаткового залучення трудових ресурсів та без інтенсифікації будівельних процесів. Крім того, підтверджено підвищення керованості реалізації проєктів, зниження ризику неконтрольованого збільшення строків будівництва та ефективніше використання трудових і виробничих ресурсів.

8. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження підтвердили досягнення поставленої мети дисертаційної роботи та вирішення визначених наукових завдань. Практична апробація підтвердила сформульовану наукову гіпотезу, відповідно до якої тривалість будівництва є адаптивним керованим параметром, що визначається комплексною взаємодією організаційно-технологічних, ресурсних, енергетичних та інформаційно-аналітичних факторів і може бути оптимізована шляхом застосування розробленого авторського науково-прикладного інструментарію. Отримані результати мають наукову новизну, розвивають теоретичні положення організації будівельного виробництва та мають практичну цінність для замовників будівництва, проєктних і підрядних організацій, органів державного управління та інших учасників реалізації інвестиційно-будівельних проєктів, особливо в умовах реконструкції, відбудови та нестабільного енергетичного забезпечення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тугай О.А. Організація будівельного виробництва : підручник. Київ : КНУБА, 2018. 412 с.

2. Поколенко В.О. Управління інвестиційно-будівельними проєктами. Київ : КНУБА, 2020. 356 с.

3. Рижакова Г.М. Теоретико-методологічні засади розвитку будівельних підприємств. Київ : Ліра-К, 2019. 328 с.

4. Єсипенко А.Д. Організаційна надійність будівельного виробництва. Київ : Ліра-К, 2017. 284 с.

5. Малихін М.О. Організаційно-технологічне проєктування будівельних процесів. Київ : КНУБА, 2021. 314 с.

6. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва.

7. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проєктної документації на будівництво.

8. ДСТУ Б А.3.1-22:2013 Визначення тривалості будівництва об'єктів.

9. ДСТУ-Н Б А.3.1-23:2013 Настанова щодо розроблення календарних планів будівництва.

10. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності».

11. Закон України «Про будівельні норми».

12. Закон України «Про архітектурну діяльність».

13. PMBOK® Guide. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. 7th Edition. Project Management Institute, 2021.

14. Kerzner H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling. 13th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2022.

15. Goldratt E.M. Critical Chain. Great Barrington : North River Press, 2017.

16. Moder J., Phillips C., Davis E. Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming. New York : Van Nostrand Reinhold, 2018.

17. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook. 4th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2024.

18. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM for Construction Planning and Management. Hoboken : John Wiley & Sons, 2021.

19. Hardin B., McCool D. BIM and Construction Management. Indianapolis : Wiley Publishing, 2022.

20. Love P.E.D., Matthews J. The Dynamics of Construction Project Performance. Engineering, Construction and Architectural Management. 2021. Vol. 28(5). P. 1347–1365.

21. Walker A. Project Management in Construction. 7th ed. Oxford : Blackwell Science, 2020.

22. Winch G. Managing Construction Projects. 3rd ed. Oxford : Wiley-Blackwell, 2021.

23. Construction Industry Institute. Construction Productivity and Schedule Performance Research Report. Austin : CII, 2023.

24. International Energy Agency. Energy Security and Construction Sector Resilience. Paris : IEA, 2023.

25. International Energy Agency. World Energy Outlook 2024. Paris : IEA, 2024.

26. European Commission. Energy Crisis and Infrastructure Recovery in Europe. Brussels, 2023.

27. European Commission. REPowerEU Plan. Brussels, 2022.

28. World Bank. Building Back Better: Reconstruction and Recovery of Infrastructure. Washington DC : World Bank Publications, 2022.

29. World Bank. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment. Washington DC, 2024.

30. United Nations Economic Commission for Europe. Guidelines for Sustainable Reconstruction and Recovery. Geneva : UNECE, 2024.

31. United Nations Development Programme. Recovery and Reconstruction Framework for Ukraine. New York, 2023.

32. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works using BIM.

33. ISO 19650-2:2018. Delivery phase of assets using BIM.

34. ISO 21500:2021 Project, Programme and Portfolio Management — Context and Concepts.

35. ISO 21502:2020 Project Management — Guidance on Project Management.

36. Державна служба статистики України. Будівельна діяльність в Україні у 2015–2025 роках. Київ : Держстат України, 2025.

37. Міністерство розвитку громад та територій України. Аналітичний звіт щодо стану будівельної галузі України в умовах енергетичної кризи. Київ, 2024.

38. Міністерство розвитку громад та територій України. Методичні рекомендації щодо реалізації проєктів відновлення та реконструкції. Київ, 2024.

39. OECD. Infrastructure Resilience in Times of Crisis. Paris : OECD Publishing, 2023.

40. McKinsey Global Institute. Reinventing Construction Through Digitalization. New York, 2022.

41. Deloitte. Construction Industry Outlook. London, 2024.

42. KPMG. Global Construction Survey. London, 2023.

43. BuildingSMART International. Open BIM Standards and Digital Construction. London, 2023.

44. Autodesk. Construction Cloud Industry Report. San Francisco, 2024.

45. Oliinyk V., Kononchuk R., Kobelchuk O., Tugay A., Dubynka O. Optimising the Construction Process through Digitalisation: Case Studies of Projects under Unstable Resource Supply. Architectural Studies. 2025. Vol. 11(1). P. 92–105.

46. Організаційно-технологічний девелопмент та інтегрована реалізація проєктів у будівництві : монографія / В. Олійник, М. Малихін, А. Козак та ін. Київ : КНУБА, 2025. 201 с.

47. Олійник В.М., Іванейко І.Д., Тугай О.А., Дубинка О.В., Іванейко М.М. Дослідження впливу періоду згортання потоків на перерозподіл невикористаного трудового ресурсу у неритмічних роботах. Будівельне виробництво. 2023. Вип. 75.

48. Олійник В.М., Тугай О.А., Іванейко І.Д., Дубинка О.В., Шебек М.О., Іванейко М.М. Вплив періоду згортання потоків у промисловому будівництві без застосування додаткового трудового ресурсу. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2023. Вип. 52(1). С. 171–180.

49. Олійник В., Дубинка О.В., Дворнічен І., Зяхор Д., Молодько О. Теоретичні основи ресурсного забезпечення в нестійких умовах для інвестиційно-будівельного проєкту на стадії проєктування. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2024. Вип. 54(1). С. 148–155.

50. Олійник В., Тугай О.А., Дворнічен І., Зяхор Д., Молодько О. Використання теоретико-прикладного інструментарію для оптимізації інвестиційно-будівельних проєктів. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2024. Вип. 54(1). С. 156–163.

51. Олійник В., Дворнічен І. Використання теоретико-прикладного підходу визначення оптимальної стратегії інвестиційно-будівельного

підприємства для реалізації проєктів будівництва. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2025. Вип. 55(2). С. 137–143.

52. Олійник В.М., Пилипчук О.Д. Будівництво об'єктів реконструкції та відновлення: інструментарій оптимізації організаційно-технологічних рішень і скорочення тривалості робіт. Будівельне виробництво. 2025. № 81. С. 112–117.

53. PMI. Pulse of the Profession Report. Project Management Institute. 2024.

54. ENR. Construction Technology and Productivity Report. New York, 2024.

55. International Labour Organization. Labour Productivity in Construction Sector. Geneva, 2023.

56. Chartered Institute of Building. Digital Construction and Project Performance. London, 2023.

57. FIDIC. Construction Contracts and Project Delivery Guidelines. Geneva, 2022.

58. American Society of Civil Engineers. Infrastructure Report Card. Reston, 2024.

59. International Project Management Association. Individual Competence Baseline. Zurich, 2020.

60. Project Management Institute. Construction Extension to the PMBOK Guide. Pennsylvania, 2023.

61. Harris R.B., McCaffer R. Modern Construction Management. 8th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2022. 672 p.

62. Sears S.K., Sears G.A., Clough R.H., Segner R.O. Construction Project Management: A Practical Guide to Field Construction Management. 7th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2021. 432 p.

63. Gould F.E., Joyce N.E. Construction Project Management. 5th ed. Boston : Pearson Education, 2020. 512 p.

64. Hendrickson C. Project Management for Construction. Pittsburgh : Carnegie Mellon University, 2020. 620 p.

65. Levy S.M. Project Management in Construction. 8th ed. New York : McGraw-Hill, 2023. 496 p.

66. Schieg M. Risk Management in Construction Projects. Journal of Business Economics and Management. 2021. Vol. 22(4). P. 845–861.

67. El-Reedy M.A. Project Management in the Oil and Gas Industry: Applications for Construction Scheduling and Resource Allocation. Amsterdam : Elsevier, 2021. 380 p.

68. Kerzner H., Saladis F.P. Project Management Case Studies. 6th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2022. 544 p.

69. Galloway P.D. Survey of the Construction Industry Relative to the Use of CPM Scheduling. Journal of Construction Engineering and Management. 2020. Vol. 146(8). P. 1–15.

70. Alaloul W.S., Liew M.S., Zawawi N.A.W.A. Construction Project Performance in Uncertain Environments. Sustainability. 2022. Vol. 14(11). P. 6542–6558.

71. Zhang J., Teizer J., Lee J.K. Building Information Modeling and Digital Twin Technologies for Construction Management. Automation in Construction. 2024. Vol. 158. Article 105180.

72. Marzouk M., Enaba M. BIM-Based Construction Scheduling and Resource Optimization. Journal of Information Technology in Construction. 2022. Vol. 27. P. 403–421.

73. Borrmann A., König M., Koch C., Beetz J. Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice. Cham : Springer, 2021. 584 p.

74. Bryde D., Broquetas M., Volm J.M. The Project Benefits of Building Information Modelling (BIM). International Journal of Project Management. 2021. Vol. 39(6). P. 971–980.

75. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. Digitalisierung im Bauwesen. Berlin, 2024.

76. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb). Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Bauwesen. Berlin : Beuth Verlag, 2023.

77. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Bauen in Krisenzeiten: Strategien für resiliente Infrastruktur. Bonn, 2024.

78. Schulte K.W., Bone-Winkel S. Immobilien-Projektentwicklung. Köln : Immobilien Manager Verlag, 2022. 540 S.

79. Heidemann A., Klingenberger M. Ressourcenmanagement im Bauwesen unter Krisenbedingungen. Bauingenieur. 2023. Bd. 98(7). S. 325–334.

80. König M., Koch C. Digitalisierung und BIM in der Bauwirtschaft. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2022. 468 S.

81. European Construction Industry Federation (FIEC). Digitalisation and Resilience in European Construction. Brussels, 2024.

82. International Federation of Consulting Engineers (FIDIC). State of the World Report: Building Resilient Infrastructure. Geneva, 2023.

83. European Investment Bank. Infrastructure Resilience and Recovery after Energy Crises. Luxembourg, 2024.

84. OECD. Infrastructure Governance Review: Resilience and Recovery. Paris : OECD Publishing, 2024.

85. World Economic Forum. Shaping the Future of Construction: Digital Transformation and Sustainability. Geneva, 2023.

86. Schwalbe K. Information Technology Project Management. 10th ed. Boston : Cengage Learning, 2024. 672 p.

87. Fleming Q.W., Koppelman J.M. Earned Value Project Management. 5th ed. Newtown Square : PMI, 2022. 280 p.

88. Verzuh E. The Fast Forward MBA in Project Management. 7th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2023. 528 p.

89. Nicholas J.M., Steyn H. Project Management for Engineering, Business and Technology. 6th ed. London : Routledge, 2022. 764 p.

90. Meredith J.R., Mantel S.J., Shafer S.M. Project Management: A Managerial Approach. 11th ed. Hoboken : Wiley, 2023. 640 p.

91. Too E.G., Weaver P. The Management of Project Management: A Conceptual Framework for Project Governance. International Journal of Project Management. 2021. Vol. 39(8). P. 742–756.

92. Zwikael O., Smyrk J. Project Governance and Project Success. International Journal of Managing Projects in Business. 2022. Vol. 15(2). P. 201–219.

93. PMI. Pulse of the Profession: Global Project Trends. Pennsylvania : PMI, 2025.

94. International Project Management Association. IPMA Global Project Excellence Baseline. Zurich, 2023.

95. Construction Leadership Council. Industry Recovery and Construction Resilience Report. London, 2024.

96. Chartered Institute of Building. Understanding Construction Productivity. London : CIOB, 2023.

97. Chartered Institute of Building. Construction Scheduling Best Practice Guide. London : CIOB, 2024.

98. American Society of Civil Engineers. Construction Planning and Scheduling Manual. Reston : ASCE Press, 2022.

99. American Society of Civil Engineers. Project Delivery Methods and Schedule Optimization. Reston : ASCE Press, 2023.

100. Engineering News Record. Global Construction Outlook 2025. New York : ENR, 2025.

101. McKinsey & Company. The Next Normal in Construction. New York, 2024.

102. McKinsey & Company. Capital Projects and Infrastructure Report. New York, 2025.

103. Deloitte. Engineering and Construction Industry Outlook 2025. London, 2025.

104. PwC. Global Capital Projects and Infrastructure Survey. London, 2024.

105. KPMG. Global Construction Survey 2025. London, 2025.

106. International Labour Organization. Skills and Labour Shortages in Construction. Geneva, 2024.

107. International Labour Organization. Future of Work in Construction. Geneva, 2023.

108. European Bank for Reconstruction and Development. Infrastructure Recovery Framework for Ukraine. London, 2024.

109. European Investment Bank. Infrastructure Investment Report 2024–2025. Luxembourg, 2025.

110. World Bank. Resilient Infrastructure Systems. Washington DC, 2024.

111. United Nations Habitat. Sustainable Reconstruction and Urban Recovery. Nairobi, 2024.

112. United Nations Office for Project Services. Infrastructure and Project Resilience Guidelines. Copenhagen, 2023.

113. OECD. Managing Infrastructure Risks in Uncertain Conditions. Paris, 2024.

114. OECD. Public Investment and Infrastructure Governance Review. Paris, 2023.

115. European Construction Sector Observatory. Construction Sector Performance Report. Brussels, 2024.

116. FIEC. European Construction Industry Statistical Report. Brussels, 2024.

117. BuildingSMART International. BIM Implementation Framework. London, 2024.

118. Autodesk Research. Digital Transformation in Construction Industry. San Francisco, 2024.

119. Bentley Systems. Infrastructure Digital Twin Report. Exton, 2024.

120. Siemens. Smart Infrastructure and Construction Resilience. Munich, 2024.

121. Fraunhofer Institute. Digitalisierung und Ressourcenmanagement im Bauwesen. Stuttgart, 2024.

122. Fraunhofer Institute. Energieeffizienz und Bauprozessoptimierung. Stuttgart, 2023.

123. Technische Universität München. BIM-gestützte Terminplanung im Bauwesen. München, 2023.

124. RWTH Aachen University. Ressourcenmanagement in Bauprojekten unter Unsicherheit. Aachen, 2024.

125. Universität Stuttgart. Digitale Methoden zur Optimierung von Bauabläufen. Stuttgart, 2023.

126. Universität Weimar. Nachhaltige Organisation von Bauprozessen in Krisenzeiten. Weimar, 2024.

127. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Energieversorgung und Resilienz kritischer Infrastruktur. Berlin, 2024.

128. Deutsches Institut für Normung (DIN). Digitalisierung und Bauprozessmanagement. Berlin, 2023.

129. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Resiliente Bauwirtschaft in Europa. Bonn, 2024.

130. German Sustainable Building Council (DGNB). Sustainable Construction and Resource Efficiency. Stuttgart, 2024.

СПИСОК ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА

Публікації у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

1. Oliinyk V., Kononchuk R., Kobelchuk O., Tugay A., Dubynka O. Optimising the construction process through digitalisation: Case studies of projects under unstable resource supply. *Architectural Studies*. 2025. Vol. 11, No. 1. P. 92–105. DOI: https://doi.org/10.56318/as/1.2025.92 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення підходів до цифровізації процесів управління будівництвом в умовах нестійкого ресурсного забезпечення, проведення аналізу впливу ресурсних обмежень на тривалість проєктів та обґрунтування організаційно-технологічних рішень щодо їх оптимізації).*

2. Олійник В., М. Малихін, А. Козак, М. Дружинін та ін.; Організаційно-технологічний девелопмент та інтегрована реалізація проєктів у будівництві: монографія / Київ: КНУБА, 2025. 201 с. URI: https://repositary.knuba.edu.ua/handle/123456789/15677 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення теоретичних положень щодо адаптації організаційно-технологічних рішень до умов нестійкого ресурсного середовища та формування підходів до управління строками реалізації будівельних проєктів).*

3. Олійник В., Тугай О., Іванейко І., Дубинка О., Шебек М., Іванейко М., Вплив періоду згортання потоків у промисловому будівництві без застосування додаткового трудового ресурсу. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2023. № 52 (1). С. 171-180. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).171-180 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення методичних положень щодо скорочення тривалості будівництва шляхом регулювання параметрів будівельних потоків без залучення додаткових трудових ресурсів).*

4. Олійник В. М., Іванейко І. Д., Тугай О. А., Дубінка О. В., Іванейко М. М., Дослідження впливу періоду згортання потоків на перерозподіл невикористаного трудового ресурсу у неритмічних роботах. *Будівельне*

виробництво, 2023. №75, С. 3-8. DOI: https://doi.org/10.36750/2524-2555.75.3-8 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить дослідження закономірностей перерозподілу трудових ресурсів у неритмічних будівельних процесах та обґрунтування механізмів згортання будівельних потоків для скорочення втрат часу).*

5. Олійник В., Дубинка О., Дворнічен І., Зяхор Д., Молодько О. Теоретичні основи ресурсного забезпечення в нестійких умовах для інвестиційно-будівельного проекту на стадії проектування. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2024. № 54 (1), С. 148–155. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).148-155 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить обґрунтування теоретичних засад ресурсного забезпечення будівельних проєктів в умовах невизначеності та визначення впливу ресурсних обмежень на календарні параметри будівництва).*

6. Олійник В., Тугай О., Дворнічен І., Зяхор Д., Молодько О. Використання теоретико-прикладного інструментарію для оптимізації інвестиційно-будівельних проектів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва,* 2024. № 54 (1), С. 156–163. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).156-163 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення науково-прикладного інструментарію оптимізації інвестиційно-будівельних проєктів та формування алгоритмів прийняття організаційно-технологічних рішень).*

7. Олійник В., Дворнічен І. Використання теоретико-прикладного підходу визначення оптимальної стратегії інвестиційно-будівельного підприємства для реалізації проектів будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025. № 55 (2). С. 137–143. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(2).137-143 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення підходу до вибору оптимальної стратегії реалізації будівельних проєктів з урахуванням ресурсних та енергетичних обмежень).*

8. Олійник В., Пилипчук О. Будівництво об’єктів реконструкції та відновлення: інструментарій оптимізації організаційно-технологічних рішень і

скорочення тривалості робіт. *Будівельне виробництво*, 2025. № 81. С. 112–117. DOI: https://doi.org/10.36750/2524-2555.81.112-117 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить розроблення інструментарію скорочення тривалості будівництва об'єктів реконструкції та відбудови шляхом адаптації організаційно-технологічних рішень до умов енергокризи).*

9. Олійник В., Железняк В. Підхід до формування цифрового та організаційно-технологічного інструментарію для управління циклом будівельних проєктів відбудови в складних умовах. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2025. №56 (1). С. 11–20. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).11-20 *(Особистий внесок здобувача: здобувачеві в даній публікації належить формування концептуальних засад цифрового управління життєвим циклом будівельних проєктів відбудови та розроблення механізмів адаптації будівельних процесів до кризових умов).*

10. Олійник В.М., Тугай О.А., Молодько О.В., Зяхор Д.О. Удосконалення організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проектів. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології»* (м. Київ, 15-16 листопада 2023 р.). Київ КНУБА. 2023. С. 161-162. https://drive.google.com/file/d/1MtRBPiOTuPp1zPEUphMqLQ-VLfIydXwU/view

11. Олійник В. М., Дубинка О. В., Єсипенко А. Д., Конончук Р. В., Кобельчук О. Ю. Основи розробки інтегрованої цифрової системи планування і контролю реалізації будівельного проекту. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Будівництво, Дизайн: Технології, Енергетика, Менеджмент»* (м. Київ, 16-17 жовтня 2024 р.) Київ КНУБА. 2024. С. 186-187. https://drive.google.com/file/d/1b5T8Z1-5yCd-xlgAgU2PUCKB3E64vuqB/view

12. Олійник В.М., Дворнічен І.Ф., Железняк В.Л., Зіньков О.В., Кобельчук О.Ю., Конончук Р.В. Інтеграція цифрового інструментарію та новітніх методологій для удосконалення проектних показників у будівництві. *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. 180. URL:

https://drive.google.com/file/d/1h5Zrq3IXNGrt06JuGw2-5oeijf26i8SX/view

13. Олійник В.М., Дворнічен І.Ф., Железняк В.Л., Зіньков О.В., Кобельчук О.Ю., Конончук Р.В., Оптимізація організаційно-технологічних рішень будівництва інфраструктурних об’єктів для балансу наявних та змінних рекурсів проекту. *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. 181. URL: https://drive.google.com/file/d/1h5Zrq3IXNGrt06JuGw2-5oeijf26i8SX/view

ДОДАТКИ

Українська
академія наук
Науково – дослідний інститут
інноваційного будівництва
(НДІ інноваційного будівництва)

03142 , Київ, вул.Семашка, 13
(044)424-51-99, 423-33-93
ndibud@gmail.com

Ukrainian
Academy of sciences
Research institute of innovation
building
(NDI of innovation building)

13, Semashko Str., Kiev, 03142, Ukraine
(044)424-51-99, 423-33-93
ndibud@gmail.com

Рахунок № 26008115188 в „ Райффайзен банк Аваль", МФО 380805, код ЄДРПОУ 36265637, свідоцтво №100222362 про реєстрацію платника ПДВ, індивідуальний податковий № 362656326579

Лист №01/05/20 Травень 20, 2026

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Цим підтверджується, що результати дисертаційного дослідження **Олійника Валерія Миколайовича** на тему: **«Науково-прикладний інструментарій визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи»**

розглянуті та впроваджені у науково-дослідний процес НДІ інноваційного будівництва Науково-дослідного інституту інноваційного будівництва.

Під час розгляду результатів дослідження встановлено практичну доцільність використання запропонованого автором науково-прикладного інструментарію для:

- визначення тривалості будівництва в умовах нестійкого ресурсного забезпечення;
- адаптивного календарного планування будівельних процесів;
- оцінювання впливу енергетичних обмежень на організаційно-технологічні рішення;
- моделювання сценаріїв реалізації інвестиційно-будівельних проєктів;
- підготовки спецкурсів для здобувачів спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія».

Матеріали дисертації рекомендовано використовувати при викладанні дисциплін:

- Організація будівництва;
- Організаційно-технологічне проєктування;
- Управління будівельними проєктами;
- Календарне планування;
- BIM та цифрові технології в будівництві.

Встановлено, що запропонований автором інструментарій має наукову новизну практичну значущість та може використовуватися під час виконання науково-дослідних дисертаційних досліджень.

Генеральний
директор НДІ
інноваційного
будівництва,
д.т.н., професор

Єсипенко АЛЛА

ТОВ "Будівельно-Фінансова Промислова Компанія "Відродження"

м. Ірпінь, вул. Ломоносова 73 кв 5

Бучанський р-н Київська обл 08206

код ЄДРПОУ 33941684

р/с UA973052990000026009030130717

АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Св-во платника ПДВ № 339416810312

ИНН 339416826561

Вих. № 672
від 17.02.2026

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Цим підтверджується, що під час виконання робіт з реконструкції об'єкта були апробовані результати дисертаційного дослідження **Олійника Валерія Миколайовича** на тему: **«Науково-прикладний інструментарій визначення тривалості будівництва в умовах енергокризи»**.

У процесі реалізації проєкту було застосовано розроблений автором алгоритм визначення та оптимізації тривалості будівництва, який включає:

- класифікацію будівельних процесів за рівнем енергетичної залежності;
- механізм адаптивного коригування календарного графіка;
- модель згортання та повторного розгортання будівельних потоків;
- механізм перерозподілу трудових ресурсів;
- сценарне моделювання режимів енергозабезпечення.

Практична апробація підтвердила можливість:

- підвищення точності визначення тривалості будівництва;
- зменшення непродуктивних простоїв;
- підвищення ефективності використання трудових ресурсів;
- скорочення тривалості виконання будівельних робіт;
- підвищення адаптивності календарного планування в умовах нестабільного енергозабезпечення.

Отримані результати підтвердили ефективність запропонованого автором науково-прикладного інструментарію та можуть бути рекомендовані до використання під час реалізації аналогічних інвестиційно-будівельних проєктів.

Директор Железняк В.Л.

ATMOSFERA

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

“АТМОСФЕРА ІНЖИНІРИНГ СІСТЕМЗ”

01010, м. Київ, Печерський район, провулок Хрестовий, 6

ЄДРПОУ 42828431

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ
Проєктна (або інжинірингова) організація

Цим підтверджується, що результати дисертаційного дослідження **Олійника Валерія Миколайовича** використані при розробленні організаційно-технологічних рішень та календарному плануванні будівельних робіт.

У діяльності підприємства застосовано запропонований автором науково-прикладний інструментарій визначення тривалості будівництва, який дозволив:

- виконувати адаптивне календарне планування;
- оцінювати вплив енергетичних обмежень на строки реалізації проєктів;
- формувати альтернативні сценарії виконання робіт;
- оптимізувати використання трудових ресурсів;
- підвищити обґрунтованість організаційно-технологічних рішень.

Результати впровадження засвідчили практичну ефективність розробленого інструментарію та підтвердили можливість його використання при розробленні проєктів нового будівництва, реконструкції та відбудови об'єктів.

Директор
ТОВ "АТМОСФЕРА ІНЖИНІРИНГ СІСТЕМЗ"
_____ Євген ІВІНСЬКИЙ
М.П.

«___» _____ 2026 р.