

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

КОВТУН МИХАЙЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 69.338.45:69.001.12.18

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ
ЗДІЙСНЕННЯ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ
БУДІВНИЦТВА**

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

_____ М. О. Ковтун

Наукові керівники:

Тугай Олексій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, завідувач
кафедри організації та управління будівництвом

Титок Вікторія Вікторівна, кандидат економічних наук, доцент кафедри
організації та управління будівництвом

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

Ковтун М.О. Удосконалення організаційно-технологічних моделей здійснення технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, 2026.

Дисертаційне дослідження присвячене науково-методичному обґрунтуванню та розробленню комплексної організаційно-технологічної моделі діяльності технічного нагляду, яка забезпечує підвищення надійності та безпеки об'єктів будівництва шляхом функціональної диференціації фахівців, раціонального нормування їхньої присутності та інтеграції процедур верифікації у цифровий простір (ЄДЕССБ). Досягнення поставленої мети передбачає розроблення розробку та впровадження комплексного організаційно-технологічного і математичного інструментарію, спрямованого на трансформацію традиційної системи технічного нагляду у будівництві в сучасну ризик-орієнтовану модель. Особливу увагу в дослідженні приділено формалізації впливу ускладнюючих та безпекових факторів (зокрема повітряних тривог) на трудомісткість процесів, а також обґрунтуванню переходу до профільної спеціалізації інженерів у цифровому середовищі ЄДЕССБ. Практична реалізація запропонованих підходів прийтиме математично обґрунтованій оптимізації чисельності інжинірингового персоналу, мінімізації технологічних простоїв підрядних організацій та підвищенню загальної експлуатаційної надійності об'єктів будівництва.

Актуальність дослідження Сучасний етап розвитку будівельної галузі України, зокрема в контексті масштабної відбудови та інтенсивної цифровізації будівельної галузі гостро потребує модернізації підходів до технічного нагляду. Існуючі організаційно-технологічні моделі контролю здебільшого спираються на застарілі підходи, що унеможлиблює раціональне планування ресурсів

інжинірингових компаній. Водночас стрімке впровадження інноваційних інструментів, таких як технології інформаційного моделювання (BIM), єдина державна електронна система у сфері будівництва (ЄДЕССБ), наразі відбувається шляхом механічного накладання цифрових рішень на традиційні аналогові алгоритми. Відсутність адаптованої, науково обґрунтованої моделі, яка б системно інтегрувала ці цифрові технології у щоденні операційні процеси, призводить до неефективного використання робочого часу. Розробка об'єктивних організаційно-технологічних критеріїв здійснення нагляду в єдиному цифровому середовищі є нагальною науково-практичною проблемою, що дозволить оптимізувати трудовитрати фахівців і суттєво підвищити якість та прозорість будівельного контролю. Таким чином, дослідження та пошук шляхів удосконалення моделей здійснення технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва є своєчасним і важливим як з наукової, так і з практичної точки зору.

У першому розділі здійснено комплексний аналіз сучасного стану, нормативно-правового забезпечення та теоретичних засад організації технічного нагляду в будівництві. Досліджено вітчизняний та передовий міжнародний досвід управління будівельними проектами, зокрема підходи Міжнародної федерації інженерів-консультантів (FIDIC) та стандарти застосування світових BIM-технологій. Виявлено ключові недоліки існуючої вітчизняної моделі технічного нагляду, яка базується на універсальному підході та не завжди враховує фактичну технологічну складність інфраструктурних об'єктів. Проаналізовано наукову літературу щодо напрямів цифровізації будівельної галузі та доведено концептуальну необхідність глибшої інтеграції контрольних процедур у державні електронні системи. На основі виявлених проблем обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження, сформульовано його мету, ключові завдання та визначено методологічний апарат для подальшої розробки організаційно-технологічних рішень.

У другому розділі розроблено методичний апарат для організаційно-технологічного реінжинірингу системи технічного нагляду. Запропоновано науково-методичний підхід до обґрунтування частоти інспекцій на основі

інструментів багатовимірною регресійного аналізу та логістичного Logit-моделювання ризиків. Обґрунтовано доцільність застосування теорії масового обслуговування (СМО), зокрема переходу від одноканальної (М/М/1) до багатоканальної моделі (М/М/п), для математичного розрахунку оптимальної чисельності інженерів технічного нагляду. Сформовано класифікацію із семи ключових ускладнюючих факторів, що визначають фактичну трудомісткість надання інжинірингових послуг. Окрему увагу приділено розробці аналітично-розрахункового методу для кількісного врахування впливу повітряних загроз на структуру робочого часу та тривалість підготовчо-заклучних робіт. Це дозволяє математично адаптувати організацію будівельних процесів та нормування трудовитрат до нестабільних безпекових умов воєнного стану.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено розробці організаційно-технологічних рішень щодо удосконалення структури та процесів функціонування служби технічного нагляду. Розроблено та обґрунтовано перехід до дворівневої матричної організаційної моделі, яка передбачає функціональну спеціалізацію інженерів (конструктивний, інженерний та енерго-автоматичний вектори) з делегуванням польової рутини допоміжному персоналу. Запропоновано науково обґрунтований підхід до розрахунку оптимальної чисельності інженерів на базі багатоканальної моделі масового обслуговування, що дозволяє збалансувати навантаження на експертів та мінімізувати технологічні простой підрядних організацій. Побудовано «Матрицю ризик-орієнтованого технічного нагляду», яка формалізує диференційований підхід до інтенсивності контролю залежно від категорії виконуваних робіт. Крім того, розроблено методику розрахунку інтегрального показника складності, який кількісно підтверджує необхідність динамічного перерахунку організаційних ресурсів через кумулятивний вплив безпекових загроз.

У четвертому розділі наведено результати практичної реалізації розроблених моделей та запропоновано шляхи їх нормативно-правового впровадження в умовах цифровізації будівництва. Вперше концептуалізовано механізм превентивного цифрового блокування технологічних процесів як

інструмент державного регулювання в екосистемі ЄДЕССБ. Доведено, що програмне унеможливлення формування актів виконаних робіт на наступні етапи без накладання КЕП сертифікованого інженера суттєво підвищує юридичну відповідальність учасників проекту. Запропоновано функціональну модель спеціалізованого «Електронного кабінету технічного нагляду» для безшовної інформаційної взаємодії фахівців. Сформовано науково-прикладні пропозиції щодо внесення змін до чинної нормативної бази, зокрема до Постанови КМУ № 903 та ДБН А.3.1-5:2016 у частині легалізації цифрового асинхронного контролю. Розроблено концептуальне технічне завдання на створення модуля «Кабінету технічного нагляду» в ЄДЕССБ створює готову дорожню карту для інтеграції ризик-орієнтованого планування в державну екосистему управління будівництвом.

Наукова новизна роботи полягає у розвитку теоретико-методичних засад та розробці практичного інструментарію організації технічного нагляду в умовах цифрової трансформації будівництва, а саме:

вперше розроблено концепцію превентивного цифрового блокування технологічних процесів як інструмент державного регулювання в екосистемі ЄДЕССБ, що, на відміну від існуючих корпоративних інформаційних систем, програмно та юридично унеможлиблює формування актів виконаних робіт на наступні етапи без накладання КЕП сертифікованого інженера;

удосконалено:

- науково-методичний підхід до визначення оптимальної чисельності та частоти виходів інженерів на об'єкт, який, на відміну від традиційного календарного планування, базується на застосуванні теорії масового обслуговування та ризик-орієнтованому економетричному моделюванні, що дозволяє мінімізувати технологічні простой підрядника;

- математичний апарат нормування трудовитрат інжинірингового персоналу з урахуванням кількісної оцінки ускладнюючих факторів, що мають вплив трудомісткість здійснення технічного нагляду;

набула подальшого розвитку організаційно-технологічна структура служби технічного нагляду шляхом обґрунтування переходу до дворівневої матричної

моделі. Впровадження функціональної спеціалізації у поєднанні з делегуванням частини функцій допоміжному персоналу дозволяє перевести роботу системи у паралельний асинхронний режим та суттєво підвищити якість технічного нагляду.

Практична цінність роботи підтверджена позитивними впровадженнями її результатів в практику діяльності Київського національного університету будівництва та архітектури (довідка від 23.06.2026 р. №1773/52-21/3/26), ГО «Академія будівництва України» (довідка про впровадження від 11.06.2026 р. № 14/07.2026/24), Громадської організації «Гільдія інженерів технічного нагляду за будівництвом об'єктів архітектури» (довідка про впровадження від 19.03.2026 № 1903/26-1) та Інжинірингової компанії ПРЕДСТАВНИЦТВО Б-АКТ СПУЛКА АКЦІЙНА (довідка про використання від 12.02.26 № 1627/26/1/a).

Науково-прикладні результати роботи (пропозиції щодо внесення змін до Постанови КМУ № 903, ДБН А.3.1-5:2016, а також концептуальне технічне завдання на розробку спеціалізованого «Електронного кабінету технічного нагляду») запропоновано для використання Міністерству розвитку громад та територій України з метою вдосконалення функціоналу Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДЕССБ).

Ключові слова: організація будівництва, організаційно-технологічні рішення, технічний нагляд, інжинірингові послуги, математичне моделювання, відновлення, інформаційне моделювання, BIM-технології, цифровізація, оптимізація, алгоритм, цифрова трансформація, ефективність, ускладнюючі фактори, трудомісткість, планування ресурсів, загрози, спеціалізація, матрична модель управління.

ABSTRACT

Kovtun M.O. Improvement of organizational and technological models of technical supervision under the conditions of construction digitalization. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 192 – Construction and Civil Engineering. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2026.

The dissertation research is devoted to the scientific and methodological substantiation and development of a comprehensive organizational and technological model of technical supervision activities, which ensures the enhancement of the reliability and safety of construction objects through the functional differentiation of specialists, rational normalization of their presence, and integration of verification procedures into the digital space (EDESSB). Achieving the set goal involves the development and implementation of a comprehensive organizational, technological, and mathematical toolkit aimed at transforming the traditional system of technical supervision in construction into a modern risk-oriented model. Special attention in the study is paid to formalizing the impact of complicating and safety factors (in particular, air raid alerts) on the labor intensity of processes, as well as substantiating the transition to the profile specialization of engineers within the digital environment of the EDESSB. The practical implementation of the proposed approaches will contribute to the mathematically justified optimization of the engineering personnel numbers, minimization of technological downtime of contracting organizations, and enhancement of the overall operational reliability of construction objects.

Relevance of the research. The current stage of development of the construction industry in Ukraine, particularly in the context of large-scale reconstruction and intensive digitalization, urgently requires the modernization of approaches to technical supervision. Existing organizational and technological models of control mostly rely on outdated approaches, which prevents the rational resource planning of engineering companies. At the same time, the rapid introduction of innovative tools, such as Building Information Modeling (BIM) technologies and the Unified State Electronic System in the

Construction Sector (EDESSB), is currently occurring through the mechanical superimposition of digital solutions onto traditional analog algorithms. The absence of an adapted, scientifically substantiated model that systematically integrates these digital technologies into daily operational processes leads to the inefficient use of working time. The development of objective organizational and technological criteria for conducting supervision in a unified digital environment is an urgent scientific and practical problem; its resolution will optimize the labor costs of specialists and significantly increase the quality and transparency of construction control. Thus, researching and finding ways to improve technical supervision models under the conditions of construction digitalization is timely and highly relevant from both a scientific and practical point of view.

The first chapter provides a comprehensive analysis of the current state, regulatory framework, and theoretical foundations of organizing technical supervision in construction. Domestic and advanced international experience in construction project management is investigated, particularly the approaches of the International Federation of Consulting Engineers (FIDIC) and the standards for applying global BIM technologies. The key shortcomings of the existing domestic technical supervision model, which relies on a universal approach and does not always account for the actual technological complexity of infrastructure facilities, are identified. The scientific literature regarding the directions of the construction industry's digitalization is analyzed, proving the conceptual need for a deeper integration of control procedures into state electronic systems. Based on the identified problems, the relevance of the dissertation research is substantiated, its goal and key tasks are formulated, and the methodological framework for the further development of organizational and technological solutions is determined.

The second chapter develops a methodological framework for the organizational and technological reengineering of the technical supervision system. A scientific and methodological approach to substantiating the frequency of inspections is proposed, based on the tools of multivariate regression analysis and logistic Logit modeling of risks. The feasibility of applying queuing theory (QT), in particular, the transition from a single-channel (M/M/1) to a multi-channel model (M/M/n), for the mathematical calculation of the optimal number of technical supervision engineers is substantiated. A classification

of seven key complicating factors that determine the actual labor intensity of providing engineering services is developed. Special attention is given to the development of an analytical and calculation method for the quantitative assessment of the impact of air raid threats on the structure of working time and the duration of preparatory and concluding works. This allows for the mathematical adaptation of the organization of construction processes and the rationing of labor costs to the unstable security conditions of martial law.

The third chapter of the dissertation is devoted to the development of organizational and technological solutions for improving the structure and functioning processes of the technical supervision service. The transition to a two-level matrix organizational model, which involves the functional specialization of engineers (structural, engineering, and energy-automated vectors) with the delegation of field routine to support personnel, is developed and substantiated. A scientifically substantiated approach to calculating the optimal number of engineers based on a multi-channel queuing model is proposed, which allows balancing the workload on experts and minimizing the technological downtime of contracting organizations. A "Risk-Oriented Technical Supervision Matrix" has been constructed, formalizing a differentiated approach to the intensity of control depending on the category of works performed. In addition, a methodology for calculating an integral complexity indicator has been developed, quantitatively confirming the need for a dynamic recalculation of organizational resources due to the cumulative impact of security threats.

The fourth chapter presents the results of the practical implementation of the developed models and proposes ways for their regulatory implementation under the conditions of construction digitalization. For the first time, a mechanism of preventive digital blocking of technological processes has been conceptualized as a tool for state regulation within the EDESSB ecosystem. It is proven that programmatically preventing the generation of certificates of completed works for subsequent stages without the application of a certified engineer's QES (Qualified Electronic Signature) significantly increases the legal responsibility of project participants. A functional model of a specialized "Electronic Technical Supervision Cabinet" is proposed for the seamless

information interaction of specialists. Scientific and practical proposals have been formulated regarding amendments to the current regulatory framework, particularly to the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 903 and State Building Norms (DBN) A.3.1-5:2016, in terms of legalizing digital asynchronous control. The developed conceptual technical specification for creating the "Technical Supervision Cabinet" module in the EDESSB provides a ready-made roadmap for integrating risk-oriented planning into the state construction management ecosystem.

The scientific novelty of the research lies in the development of theoretical and methodological foundations and the creation of practical tools for organizing technical supervision under the conditions of the digital transformation of construction, namely:

for the first time, the concept of preventive digital blocking of technological processes has been developed as a tool for state regulation within the EDESSB ecosystem. Unlike existing corporate information systems, this concept programmatically and legally prevents the generation of certificates of completed works for subsequent stages without the application of a certified engineer's QES (Qualified Electronic Signature);

improved:

- the scientific and methodological approach to determining the optimal number and frequency of engineers' visits to the site, which, unlike traditional calendar planning, is based on the application of queuing theory and risk-oriented econometric modeling, thus allowing to minimize the technological downtime of the contractor;

- the mathematical apparatus for rationing the labor costs of engineering personnel, taking into account the quantitative assessment of complicating factors that affect the labor intensity of conducting technical supervision;

further developed the organizational and technological structure of the technical supervision service by substantiating the transition to a two-level matrix model. The implementation of functional specialization in combination with the delegation of some functions to support personnel allows transferring the system's operation into a parallel asynchronous mode and significantly increasing the quality of technical supervision.

The practical value of the work is confirmed by the successful implementation of its results into the practical activities of the Kyiv National University of Construction and

Architecture (certificate dated June 23, 2026, No. 1773/52-21/3/26), NGO "Academy of Construction of Ukraine" (implementation certificate dated June 11, 2026, No. 14/07.2026/24), Non-Governmental Organization "Guild of Engineers of Technical Supervision over the Construction of Architectural Objects" (certificate of implementation dated March 19, 2026, No. 1903/26-1) and the Engineering Company REPRESENTATIVE OFFICE OF B-ACT SPÓŁKA AKCYJNA (certificate of use dated February 12, 2026, No. 1627/26/1/a).

The scientific and practical results of the work (proposals for amending the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 903, State Building Norms DBN A.3.1-5:2016, as well as the conceptual technical specification for the development of a specialized "Electronic Technical Supervision Cabinet") have been proposed for use to the Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine to improve the functionality of the Unified State Electronic System in the Construction Sector (EDESSB).

Keywords: organization of construction, organizational and technological solutions, technical supervision, engineering services, mathematical modeling, reconstruction, information modeling, BIM technologies, digitalization, optimization, algorithm, digital transformation, efficiency, complicating factors, labor intensity, resource planning, threats, specialization, matrix management model.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Тугай О.А., Ковтун М.О. Деякі організаційні аспекти здійснення технічного нагляду за будівництвом об'єктів архітектури. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2024. № 45. С. 364–370. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i45.41> URL: <https://budres.org/index.php/budres/article/view/606/613> *Особистий внесок здобувача: на основі порівняльного аналізу вітчизняного та європейського нормативного забезпечення сформульовано пропозиції щодо модернізації організаційних регламентів здійснення технічного нагляду.*
2. Тугай О.А., Ковтун М.О. Аналіз впливу повітряних загроз на здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єктів архітектури. *Будівельне виробництво*. 2025. №79. С. 29-34. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.79.29-34>. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/537/269> *Особистий внесок здобувача: розроблено дворівневу інженерну методику врахування форс-мажорних повітряних загроз при календарному плануванні трудомісткості та дискретності інспекційних виїздів на будівельні об'єкти.*
3. Тугай О.А., Ковтун М.О. Кількісна оцінка впливу ускладнюючих факторів на трудомісткість здійснення технічного нагляду. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2026. № 57(2). С. 276-283. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57\(2\).276-283](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(2).276-283). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/357332/343228> *Особистий внесок здобувача: обґрунтовано математичну модель розрахунку інтегрального показника складності технагляду на основі бально-вагової оцінки семи ключових організаційно-технологічних факторів будівельного проекту.*

Статті в наукових періодичних виданнях інших держав (Журнали включено до наукометричних баз: Index Copernicus, Scientific Indexing Services, Citefactor, Open Academic Journals Index Ulrichsweb, BASE)

4. Тугай О.А., Ковтун М.О. Методологічні засади функціональної спеціалізації технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва. *The scientific heritage*. 2026. № 179. С. 4-8. DOI: 10.5281/zenodo.18762305. URL: <https://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2026/02/The-scientific-heritage-No-179-179-2026.pdf> *Особистий внесок здобувача: запропоновано трьохвекторну матричну модель функціональної спеціалізації інженерів технічного нагляду в межах єдиного цифрового середовища ЄДЕССБ.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації: тези доповідей на конференціях:

5. Ковтун М.О. Деякі аспекти нормативно-правового регулювання здійснення технічного нагляду у будівництві. *Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених «BUILD-MASTER-CLASS-2023»*, 29 грудня 2023 р., м. Київ, Україна. С. 363-364. URL: https://drive.google.com/file/d/1UTz7ErwYUJnzZZ_N1TxB1cuqTCIR_mJc/view

6. Тугай О.А., Ковтун М.О. Функції особи, що здійснює технічний нагляд під час будівництва об'єктів архітектури. *Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології: Міжнародний науково-технічний форум: Програма та тези доповідей*. (15-16 листопада 2023 р., м. Київ). Київ: Видавництво Ліра-К, 2023. С. 178-179. URL: <https://drive.google.com/file/d/1MtRBPiOTuPp1zPEUphMqLQ-VLfIydXwU/view> *Особистий внесок здобувача: обґрунтовано доцільність перегляду переліку функцій особи, що здійснює технічний нагляд з врахуванням сучасних потреб галузі.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	16
ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА СВІТОВОГО ДОСВІДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ	24
1.1. Нормативно-правове регулювання здійснення технічного нагляду в Україні	24
1.2. Міжнародна практика нормативного забезпечення здійснення технічного нагляду	33
1.3. Нормативні вимоги та інституційні виклики здійснення технічного нагляду на об'єктах відновлення.....	34
1.4. Систематизація науково-методичних підходів до оптимізації процесів технічного нагляду	39
Висновки до розділу 1	50
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	52
2.1. Методичні підходи до удосконалення моделі діяльності служби технічного нагляду в цифровому середовищі	52
2.2. Методичні засади обґрунтування частоти виходів інженерів технічного нагляду на об'єкт будівництва	54
2.3. Методичні підходи до визначення оптимальної чисельності інженерів технічного нагляду	63
2.4. Методологічне обґрунтування врахування ускладнюючих факторів при проведенні технічного нагляду	68
2.5. Підходи до адаптації моделі технічного нагляду до умов повітряних загроз як детермінованого чинника складності будівництва	71
Висновки до розділу 2	73
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ	74

3.1. Організаційно-технологічна модель діяльності служби технічного нагляду в цифровому середовищі	74
3.2. Розрахунковий механізм визначення частоти виходів інженерів технічного нагляду	81
3.3. Кількісне обґрунтування оптимальної чисельності інженерів технічного нагляду	98
3.4. Оцінка впливу ускладнюючих факторів на трудомісткість здійснення технічного нагляду	103
3.5. Аналіз впливу повітряних загроз на здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єктів архітектури	106
Висновки до розділу 3	115
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	117
4.1. Архітектура єдиного цифрового середовища технічного нагляду та інтеграція з ЄДЕССБ	117
4.2. Реінжиніринг бізнес-процесів технічного нагляду та запровадження функції превентивного цифрового блокування	119
4.3. Оцінка організаційно-економічної ефективності впровадження цифрової ризик-орієнтованої моделі технічного нагляду	123
4.4. Напрями нормативно-правової імплементації моделі та технічне завдання на створення спеціалізованого кабінету в ЄДЕССБ	125
Висновки до розділу 4	127
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	129
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	131
ДОДАТКИ	144

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВІМ	– Інформаційне моделювання будівель
АРМ	– Автоматизоване робоче місце
ЄДЕССБ	– Єдина державна електронна система у сфері будівництва
ЄЦСТН	– Єдине цифрове середовище технічного нагляду
ІТН	– Інженер технічного нагляду
КЕП	– Кваліфікований електронний підпис
НРК	– Національна рамка кваліфікацій
ОСП	– Орган з сертифікації персоналу
СМО	– Система масового обслуговування

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасний етап розвитку будівельної галузі України, зокрема в контексті масштабної відбудови та інтенсивної цифровізації будівельної галузі гостро потребує модернізації підходів до технічного нагляду. Існуючі організаційно-технологічні моделі контролю здебільшого спираються на застарілі підходи, що унеможлиблює раціональне планування ресурсів інжинірингових компаній. Водночас стрімке впровадження інноваційних інструментів, таких як технології інформаційного моделювання (BIM), єдина державна електронна система у сфері будівництва (ЄДЕССБ), наразі відбувається шляхом механічного накладання цифрових рішень на традиційні аналогові алгоритми. Відсутність адаптованої, науково обґрунтованої моделі, яка б системно інтегрувала ці цифрові технології у щоденні операційні процеси, призводить до неефективного використання робочого часу. Розробка об'єктивних організаційно-технологічних критеріїв здійснення нагляду в єдиному цифровому середовищі є нагальною науково-практичною проблемою, що дозволить оптимізувати трудовитрати фахівців і суттєво підвищити якість та прозорість будівельного контролю

Таким чином, дослідження та пошук шляхів удосконалення моделей здійснення технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва є своєчасним і важливим як з наукової, так і з практичної точки зору.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукова робота базується на основоположних законодавчих та нормативно-правових актах України, які регулюють інжинірингову, містобудівну та науково-технічну діяльність в умовах цифровізації, зокрема на:

Законі України «Про регулювання містобудівної діяльності»;

Законі України «Про архітектурну діяльність» (щодо прав та обов'язків суб'єктів архітектурної діяльності та здійснення архітектурно-будівельного контролю);

Постанові Кабінету Міністрів України від 11.07.2007 р. № 903 «Про авторський та технічний нагляд під час будівництва об'єкта архітектури»;

Постанові Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 р. № 681 «Деякі питання забезпечення функціонування Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва» (ЄДЕССБ);

Розпорядженні Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні»;

Національних стандартах України (ДСТУ), що регламентують організаційно-технологічні процеси в будівництві, управління проектами, а також стандарти серії ДСТУ ISO 19650 (Організація та оцифрування інформації щодо будівель та інженерних споруд, включаючи будівельне інформаційне моделювання (BIM)).

Дисертаційне дослідження виконано у межах науково-дослідних та науково-пошукових робіт Київського національного університету будівництва і архітектури, у виконанні яких безпосередню участь брав автор, зокрема:

«Розробка науково-технічного інструментарію для формування та реалізації внутрішньовиробничих планів діяльності будівельної організації» (номер державної реєстрації 0124U005196) – особистий внесок автора полягає в оптимізації операційних планів контролю якості та інтеграції графіків технічного нагляду в загальну систему внутрішньовиробничого планування будівельного підприємства.

«Розробка інжинірингового інструментарію для інвестиційно-будівельних проектів» (номер державної реєстрації 0124U005197) – особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні організаційно-технологічних моделей здійснення інспекційного контролю та цифровізації взаємодії інженера з технічного нагляду зі службою замовника на всіх етапах реалізації проекту.

«Дослідження та розробка організаційно-технологічних рішень для зменшення негативного впливу на стан навколишнього середовища при ревіталізації території» (номер державної реєстрації 0124U005198) – особистий внесок автора полягає у розробці цифрових регламентів технагляду за

дотриманням екологічних та технологічних параметрів під час реконструкції та відновлення урбанізованих територій.

Результати дослідження безпосередньо інтегровані в навчальні програми Київського національного університету будівництва і архітектури при підготовці здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Організаційно-технологічні моделі та методичні рекомендації автора використовуються при викладанні дисциплін «Спецкурс випускової кафедри», «Організація та управління будівництвом», «Інформаційне моделювання процесів організації і управління будівництвом», «Використання BIM інструментарію при плануванні та організації будівництва».

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є обґрунтування та розробка комплексної організаційно-технологічної моделі діяльності технічного нагляду, яка забезпечує підвищення надійності та безпеки об'єктів будівництва шляхом функціональної диференціації фахівців, раціонального нормування їхньої присутності та інтеграції процедур верифікації у цифровий простір (ЄДЕССБ).

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан та тенденції організаційно-технологічного забезпечення технічного нагляду в Україні та світі.
2. Дослідити вплив цифровізації будівельної галузі, зокрема функціональних можливостей ЄДЕССБ, на процес здійснення технічного нагляду;
3. Обґрунтувати структуру функціональної спеціалізації фахівців технічного нагляду та розробити організаційно-технологічну модель діяльності технічного нагляду, що включає матричну структуру розподілу функцій між профільними інженерами та допоміжним персоналом.
4. Запропонувати математичний апарат для нормування чисельності команди технічного нагляду та регламентації частоти їхньої присутності на об'єкті,

нормування трудовитрат інженерів технічного нагляду з урахуванням факторів впливу.

5. Розробити методіку інтерактивної взаємодії учасників технагляду в цифровому середовищі (ЄДЕССБ) із використанням інструментів фотофіксації та «цифрових шлюзів» для підтвердження якості робіт.

6. Здійснити практичну реалізацію наукових положень роботи шляхом розробки технічних вимог до функціональної структури електронного кабінету інженера технічного нагляду в ЄДЕССБ, забезпечивши алгоритмізацію процесів спеціалізованої верифікації та багаторівневого контролю будівельних робіт.

Об'єкт дослідження – процес здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єктів архітектури в умовах цифровізації будівництва.

Предмет дослідження – методи та моделі здійснення технічного нагляду, що базуються на функціональній спеціалізації та використанні цифрових систем контролю (ЄДЕССБ).

Методи дослідження. Методологічною основою дослідження є системно-технічний підхід. Аналіз світового досвіду та нормативно-правового забезпечення інжинірингових послуг здійснено методами системно-структурного і порівняльного аналізу, абстрагування, синтезу та узагальнення. Обґрунтування ризик-орієнтованої частоти технічного нагляду виконано методами багатовимірного регресійного аналізу (Logit-регресія, метод найменших квадратів). Оптимізацію чисельності інженерів для мінімізації простоїв здійснено із застосуванням апарату теорії масового обслуговування (СМО), зокрема моделей М/М/1 та М/М/п. Кількісна формалізація ускладнюючих факторів (показник Кст) та оцінка впливу повітряних загроз на трудомісткість базуються на методах математичного моделювання, адитивної згортки та статистичного аналізу. Методи організаційно-технологічного моделювання застосовано для розробки матричної структури служби технагляду та алгоритмів її роботи в середовищі ЄДЕССБ. Обробку емпіричних даних, оцінювання економетричних моделей та тестування статистичних гіпотез реалізовано за допомогою програмного комплексу EViews.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку теоретико-методичних засад та розробці практичного інструментарію організації технічного нагляду в умовах цифрової трансформації будівництва, а саме:

вперше розроблено концепцію превентивного цифрового блокування технологічних процесів як інструмент державного регулювання в екосистемі ЄДЕССБ, що, на відміну від існуючих корпоративних інформаційних систем, програмно та юридично унеможлиблює формування актів виконаних робіт на наступні етапи без накладання КЕП сертифікованого інженера;

удосконалено науково-методичний підхід до визначення оптимальної чисельності та частоти виходів інженерів на об'єкт, який, на відміну від традиційного календарного планування, базується на застосуванні теорії масового обслуговування та ризик-орієнтованому економетричному моделюванні, що дозволяє мінімізувати технологічні простоя підрядника;

удосконалено математичний апарат нормування трудовитрат інжинірингового персоналу з урахуванням кількісної оцінки ускладнюючих факторів, що мають вплив трудомісткість здійснення технічного нагляду;

набула подальшого розвитку організаційно-технологічна структура служби технічного нагляду шляхом обґрунтування переходу до дворівневої матричної моделі. Впровадження функціональної спеціалізації у поєднанні з делегуванням частини функцій допоміжному персоналу дозволяє перевести роботу системи у паралельний асинхронний режим та суттєво підвищити якість технічного нагляду.

Практичне значення результатів дисертації полягає у розробці прикладного інструментарію, який безпосередньо готовий до впровадження в діяльність служб замовника, девелоперських та інжинірингових компаній з метою підвищення організаційно-технологічної надійності будівництва. Головними прикладними результатами дослідження є: методика оптимізації нераціональних трудовитрат висококваліфікованих інженерів шляхом делегування рутинних, типізованих операцій допоміжному лінійному персоналу на основі запропонованої матриці розподілу функцій; програмно-алгоритмічні рішення для автоматизації розрахунку планового завантаження персоналу технічного нагляду, що дозволяє

інжиніринговим компаніям гнучко управляти пулом експертів на декількох об'єктах одночасно; прикладні регламенти інтерактивної верифікації та оперативного цифрового оформлення актів огляду прихованих робіт та ведення електронних загальних журналів робіт, що зводить до мінімуму ризику технологічного браку та фальсифікації виконавчої документації; методичні матеріали, які інтегровано у навчальні програми та курси підвищення кваліфікації фахівців за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у сфері сучасного цифрового управління проектами та забезпечення якості будівельної продукції.

Практична цінність роботи підтверджена позитивними впровадженнями її результатів в практику діяльності Київського національного університету будівництва та архітектури (довідка від 23.06.2026 р. №1773/52-21/3/26), ГО «Академія будівництва України» (довідка про впровадження від 11.06.2026 р. № 14/07.2026/24), Громадської організації «Гільдія інженерів технічного нагляду за будівництвом об'єктів архітектури» (довідка про впровадження від 19.03.2026 № 1903/26-1) та Інжинірингової компанії ПРЕДСТАВНИЦТВО Б-АКТ СПУЛКА АКЦІЙНА (довідка про використання від 12.02.26 № 1627/26/1/a).

Науково-прикладні результати роботи (пропозиції щодо внесення змін до Постанови КМУ № 903, ДБН А.3.1-5:2016, а також концептуальне технічне завдання на розробку спеціалізованого «Електронного кабінету технічного нагляду») запропоновано для використання Міністерству розвитку громад та територій України з метою вдосконалення функціоналу Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДЕССБ).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки й результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Апробація результатів дослідження. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на *Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «BUILD-MASTER-CLASS-2023»*, 29 грудня 2023 р; *Міжнародному науково-технічному форумі: Архітектура, Дизайн та*

Будівництво: Інноваційні технології (15-16 листопада 2023 р., м. Київ) та *XI Міжнародній науково-технічній конференції «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»* (24-25 жовтня 2024 р., Рівне).

Публікації. Основні положення наукової новизни та основні результати дослідження опубліковані в 6 наукових працях, у тому числі: 3 статтях у наукових фахових виданнях України категорії «Б»; 1 – у періодичному міжнародному виданні; 2 тези наукових доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із анотації, списку праць здобувача за темою дисертації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 155 сторінок друкованого тексту, з яких обсяг основного тексту – 106 сторінок, які містять 22 рисунки та 16 таблиць. Список використаних джерел із 107 найменувань розміщено на 13 сторінках, 6 додатків викладено на 12 сторінках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА СВІТОВОГО ДОСВІДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ

1.1. Нормативно-правове регулювання здійснення технічного нагляду в Україні

Технічний нагляд являється частиною комплексу робіт, пов'язаних зі створенням об'єкта архітектури. Здійснення технічного нагляду за будівництвом об'єкта архітектури сприяє надійності будинків, споруд та їх комплексів та зменшенню ризиків, що виникають в процесі реалізації проекту.

В той же час, нормативні документи, що встановлюють порядок здійснення технічного нагляду чи діяльність осіб, що здійснюють технічний нагляд та їх взаємовідносини з Замовниками, містять певні відмінності в формулюваннях щодо функцій інженерів технічного нагляду [1, 2]. Тому доцільно провести аналіз таких документів та виявити наявні розбіжності.

Статтею 881 Цивільного кодексу України [3] встановлено право замовника укладати договір на надання послуг з нагляду за будівництвом зі спеціалізованою організацією або спеціалістом

Згідно з Законом України «Про архітектурну діяльність» [4] технічний нагляд – здійснення замовником контролю за дотриманням проектних рішень та будівельних норм і правил, а також контролю за якістю виконаних робіт та їх обсягами під час будівництва або зміни (у тому числі шляхом знесення) об'єкта містобудування, а порядок проведення технічного нагляду встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Порядок здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єкта архітектури затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 11 липня 2007 р. № 903 (далі – Порядок) [5].

Даний Порядок визначає механізм здійснення технічного нагляду за об'єктами (нове будівництво, реконструкція, реставрація, капітальний ремонт будівель і споруд, та технічне переоснащення існуючих підприємств). Даний

нормативний документ визначає обов'язки осіб, які здійснюють технічний нагляд у будівництві об'єкта на будівельних майданчиках.

Даним документом передбачено певні обов'язки осіб, які здійснюють технічний нагляд (Рисунок 1.1):



Рисунок 1.1 – Перелік функцій технічного нагляду

Джерело: сформовано автором на основі [5]

Пункт про те, що на технічний нагляд покладається виконання інших функцій, вказано досить нечітко, через що на практиці можуть виникати непорозуміння щодо того, чи входять ті чи інші функції до компетенції технічного нагляду. Наприклад, часто такі питання стосуються перевірки достовірності визначення вартості будівельних робіт чи якості устаткування.

Деякі Замовники вимагають виконання даних функцій від осіб, що здійснюють технічний нагляд, тоді як вони не передбачені кваліфікаційною характеристикою інженера технічного нагляду [6].

Кваліфікаційною характеристикою передбачено такі ж завдання та обов'язки інженера технічного нагляду, що й в Порядку, але додатково:

- проводить технічний контроль на всіх стадіях будівництва;
- бере участь у процесі прийняття в експлуатацію завершених будівель відповідно до встановлених норм;
- контролює повноту та коректність ведення затвердженої виконавчої та технічної документації, а також перевіряє її своєчасність і правильність складання.

Ще один нормативний документ в якому вказані функції особи, що здійснює технічний нагляд – Примірна форма договору про здійснення технічного нагляду у будівництві [7]. Відповідно до даної примірної форми договору особа, що здійснює технічний нагляд зобов'язана:

- перевіряти якість та відповідність виконаних будівельних робіт, використаних конструкцій, матеріалів та обладнання проектним вимогам, будівельним нормам і стандартам, а також іншим нормативним документам;
- спільно з підрядником проводити огляд та оцінку результатів виконаних робіт, у тому числі прихованих елементів;
- інформувати підрядника про невідповідність матеріалів і обладнання вимогам нормативних актів;
- контролювати наявність документів, які підтверджують якісні характеристики конструкцій та матеріалів, що застосовуються в процесі будівництва: технічних паспортів, сертифікатів та документів лабораторних випробувань;
- зупиняти роботи у разі використання неякісних матеріалів або конструкцій, що не відповідають нормативним вимогам; оформляти акти для прихованих робіт і фіксувати недоліки у виконанні будівельних робіт;
- забезпечувати контроль за веденням загального журналу виконання робіт;
- брати участь у виробничих нарадах Замовника щодо виконання послуг за цим договором;

- повідомляти органи державного архітектурно-будівельного контролю про виявлені відхилення від проектних рішень під час будівництва й інформувати Замовника про відмову підрядника усунути ці вади;

- участь у перевірках органами державного нагляду та архітектурно-будівельного контролю є обов'язковою;

- контролювати виконання підрядником рекомендацій і приписів, виданих після технічного нагляду та державного контролю;

- фіксувати результати технічного нагляду в журналі виконання робіт із зазначенням дефектів і порушень, а також зобов'язувати підрядника усунути їх;

- перевіряти та затверджувати акти приймання виконаних будівельних робіт і змонтованого обладнання на відповідність обсягам виконаних робіт;

- брати участь у складанні актів для прихованих робіт і прийнятті закінчених об'єктів в експлуатацію;

- вести облік кількості прийнятих будівельних робіт та тих, що були виконані з недоліками;

- оформлювати акти на роботи з недоліками;

- контролювати проведення всіх необхідних випробувань і реагувати на всі відхилення чи невідповідності своєчасно;

- здійснювати фото та відеофіксацію важливих конструкцій та завершених будівельних робіт;

- своєчасно складати акти приймання послуг технічного нагляду й передавати їх Замовнику для перевірки;

- забезпечити облік і зберігання документації (в письмовій або електронній формі), створеної або отриманої Виконавцем протягом дії цього договору згідно зі списком документації для передачі Замовнику по закінченню договору чи його розірванні;

- надавати повну інформацію Замовнику про хід реалізації договору як в письмовій формі, так і електронними засобами.

В 2023 р. Всеукраїнською громадською організацією «Гільдія інженерів технічного нагляду за будівництвом об'єктів архітектури» згідно з вимогами

статті 4² Кодексу законів про працю України» [8] розроблено та затверджено Професійний стандарт «Інженер з технічного нагляду (будівництво)» [9]. Даний професійний стандарт було внесено в установленому порядку Національним агенством кваліфікацій до Реєстру кваліфікацій.

Відповідно до цього Професійного стандарту, мета діяльності за професією - здійснення контролю за дотриманням проектних рішень та вимог державних стандартів, будівельних норм і правил; контролю за якістю виконаних робіт та їх обсягами під час будівництва або зміни (у тому числі шляхом знесення) об'єкта архітектури.

Виділяється 4 професійні кваліфікації інженерів з технічного нагляду:

- Провідний інженер з технічного нагляду (будівництво);
- Інженер з технічного нагляду (будівництво) I категорії;
- Інженер з технічного нагляду (будівництво) II категорії;
- Інженер з технічного нагляду (будівництво).

Вимоги до кожної з кваліфікацій інженерів з технічного нагляду наведено на Рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Вимоги до кваліфікації інженерів технічного нагляду

Джерело: сформовано автором на основі [9]

Провідний інженер та інженер I категорії віднесено до 7 рівня Національної рамки кваліфікацій (НРК) [10], а інженер та інженер II категорії – до 6 рівня НРК.

Національна рамка кваліфікацій базується на європейських та національних стандартах, а також на забезпеченні якості в освіті. Вона ґрунтується на вимогах ринку праці, що висувуються до навичок працівників і має на меті гармонізацію законодавства в галузі освіти та соціально-трудових відносин. НРК сприяє міжнародному визнанню українських кваліфікацій та ефективній взаємодії між освітнім сектором і ринком праці. Рівень є структурною одиницею Національної рамки кваліфікацій. Він визначається певним набором результатів навчання, що характерні для кваліфікацій на відповідному рівні. Так, для рівня 6 НРК відповідає освіта бакалавра, а рівню 7 НРК – магістра (Таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Опис кваліфікаційних рівнів, що відповідають професійній кваліфікації інженерів з технічного нагляду (будівництво)

Ріве нь	Уміння (навички)	Відповідальність і автономія
6	поглиблені когнітивні та практичні уміння/навички, майстерність та інноваційність на рівні, необхідному для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем у сфері професійної діяльності або навчання	управління складною технічною або професійною діяльністю чи проектами спроможність нести відповідальність за вироблення та ухвалення рішень у непередбачуваних робочих та/або навчальних контекстах формування суджень, що враховують соціальні, наукові та етичні аспекти організація та керівництво професійним розвитком осіб та груп здатність продовжувати навчання із значним ступенем автономії

7	<p>спеціалізовані уміння/навички розв'язання проблем, необхідні для проведення досліджень та/або провадження інноваційної діяльності з метою розвитку нових знань та процедур</p> <p>здатність інтегрувати знання та розв'язувати складні задачі у широких або мультидисциплінарних контекстах</p> <p>здатність розв'язувати проблеми у нових або незнайомих середовищах за наявності неповної або обмеженої інформації з урахуванням аспектів соціальної та етичної відповідальності</p>	<p>управління робочими або навчальними процесами, які є складними, непередбачуваними та потребують нових стратегічних підходів</p> <p>відповідальність за внесок до професійних знань і практики та/або оцінювання результатів діяльності команд та колективів</p> <p>здатність продовжувати навчання з високим ступенем автономії</p>
---	---	--

Джерело: складено автором на основі [10]

Професійним стандартом для інженерів з технічного нагляду (будівництво) передбачено дві спеціалізації, які відображаються у кваліфікаційних сертифікатах, зокрема: технічний нагляд за будівництвом будівель і споруд та технічний нагляд за будівництвом автомобільних доріг.

За сукупністю компетентностей, що дозволяють виконувати певний вид роботи або здійснювати професійну діяльність для професії «Інженер з технічного нагляду (будівництво)» виділяються такі професійні спеціалізації:

- інженер з технічного нагляду (будівництво будівель і споруд) – при будівництві усіх будівель і споруд, крім автомобільних доріг (трудові функції визначені у цьому професійному стандарті);

- інженер з технічного нагляду (будівництво автомобільних доріг) – при будівництві автомобільних доріг, крім будівель і споруд (трудові функції, визначені у цьому професійному стандарті).

Інженер технічного нагляду (будівництво), який працює або надає послуги для створення архітектурних об'єктів, повинен отримати професійну сертифікацію відповідно до українського законодавства. Це означає отримання кваліфікаційного сертифіката, який підтверджує їх відповідність цьому професійному стандарту. Сертифікат засвідчує їх право працювати та надавати послуги в межах своєї кваліфікаційної категорії або нижчої.

Професійна сертифікація спеціалістів, які беруть участь у створенні архітектурних об'єктів, здійснюється центральним органом виконавчої влади, відповідальним за реалізацію державної політики в архітектурі, або саморегулювальною організацією в галузі архітектури, якій було делеговано повноваження на проведення цієї сертифікації.

До осіб, що виконують роботи і пройшли професійну атестацію, відносяться також ті, хто отримав сертифікати в ОСП у напрямку професійної атестації за спеціальністю інженера з технічного нагляду (будівництво). Цей сертифікат засвідчує їх відповідність кваліфікаційним вимогам, встановленим даним професійним стандартом, для ОСП, які акредитовані відповідно до Закону України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності» [11], та включені до Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДЕССБ).

Інженер з технічного нагляду (будівництво), який має кваліфікаційний сертифікат або сертифікат від органу сертифікації персоналу (ОСП) для роботи на будівельних майданчиках відповідного класу наслідків, може розпочати виконання робіт (послуг), зазначених у сертифікаті, з моменту внесення інформації про них до Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва. Це можливо за умови дотримання наступних вимог:

- відсутність перерви у професійній діяльності більше трьох років;
- підвищення кваліфікації відповідно до чинного законодавства не рідше одного разу на п'ять років;
- дотримання вимог цього стандарту, принципів професійної етики у наданні послуг та стандартів професійної діяльності.

Даним професійним стандартом окрім іншого, визначені й трудові функції інженерів технічного нагляду, в тому числі, й здійснення функцій користувача електронного кабінету, передбачених Порядком ведення ЄДЕССБ (*електронний кабінет користувача ЄДЕССБ, інструкція користувача АРМ Атестована особа*).

Функції користувача електронного кабінету технічного нагляду на сьогодні достатньо обмежені та включають в себе проходження процедури електронної ідентифікації та автентифікації; створення, завантаження та підписання документів, підтвердження залучення до виконання робіт, визначених кваліфікаційним сертифікатом, підтвердження залучення до роботи у суб'єкта господарювання, листування з користувачами електронної системи, держателем і технічним адміністратором.

Інженери технічного нагляду в будівництві, які мають кваліфікаційний сертифікат або сертифікат ОСП, мають право виконувати роботи (послуги) на об'єктах класу наслідків (відповідальності), що відповідають кваліфікаційним вимогам, які діють на момент виконання цих робіт (послуг) для відповідної або нижчої категорії працівників. Інженери без категорії можуть виконувати конкретні завдання з повного переліку трудових функцій під керівництвом інженера технічного нагляду вищої категорії, але їм не дозволяється самостійно виконувати роботи будь-якого класу наслідків (відповідальності), якщо інше не передбачено законом.

На даний момент нормативна база України не визначає функції інженера технічного нагляду. У деяких нормативних документах, що охоплюють ці функції, обов'язки інженерів технічного нагляду узагальнені з різним ступенем деталізації. Це призводить до неоднозначних тлумачень серед учасників інвестиційного процесу та органів інспекції.

Необхідно провести більше досліджень для розробки рекомендацій щодо оновлення функцій інженерів технічного нагляду, враховуючи поточні потреби галузі та внесення змін до відповідних нормативних актів.

1.2 Зарубіжний досвід нормативно-правового регулювання здійснення технічного нагляду

Світова практика останнього десятиліття демонструє фундаментальну трансформацію технічного нагляду. З формальної процедури контролю він перетворюється на стратегічний інструмент управління якістю та ризиками, що базується на інтелектуальних цифрових інструментах. Критичний аналіз зарубіжних досліджень вказує на те, що традиційні методи, які покладаються на статичні паперові чек-листи, втрачають свою актуальність через нездатність врахувати специфіку кожного конкретного об'єкта та динаміку будівельних потоків [12, 13]. Натомість, розвинені будівельні екосистеми переходять до використання динамічних моделей, які інтегрують дані з усіх етапів життєвого циклу об'єкта [13, 14].

Важливим нормативним орієнтиром у цій сфері є *International Building Code (IBC)*, який встановлює мінімальні вимоги до систем будівництва на основі принципу «прийняттого ризику» [15]. IBC регламентує багаторівневу систему інспекцій, що є обов'язковою умовою для отримання дозволів на будівництво та введення об'єктів в експлуатацію. У США цей підхід доповнюється суворою системою спеціальних інспекцій (*Special Inspections*), де залучення акредитованих експертів для перевірки критичних вузлів конструкцій стає гарантією безпеки, що дозволяє автоматизувати оцінку витрат на проведення таких перевірок та зіставляти їх із потенційними ризиками [13-15].

Велика Британія пропонує ще глибшу інтеграцію нагляду в систему управління проектами через методологію *Building Regulations* та інструменти *Building Cost Information Service (BCIS)* [16]. Британська модель характеризується високою культурою роботи з даними: директор проекту трансформує виробничі показники кожного етапу у фундаментальні дані для системного управління. Це дозволяє застосовувати порівняльні індекси вартості, що є обов'язковими для оцінки проектних витрат на всіх стадіях – від базового проектування до формування замовлень на будівництво. Досвід Великої Британії демонструє, як стандартизація інформаційних потоків та їх відкритість (*Open Data*) сприяють

мінімізації помилок, оскільки кожна зміна чи невідповідність фіксується в централізованих електронних реєстрах, доступних усім учасникам будівництва.

Застосування відеомоніторингу в реальному часі, зокрема систем на кшталт EgoConQS, виводить нагляд на якісно новий рівень, використовуючи відеокамери, закріплені на екіпіруванні працівників. Це дає можливість у реальному часі відстежувати виконання ключових операцій, що робить будівельний процес максимально прозорим [17]. Культура роботи з даними, що базується на міжнародному досвіді централізованих середовищ (PMIS та SPRS), дозволяє галузі навчатися на власних кейсах, формуючи бази даних реальних випадків («Construction success and failure DB») [16]. Сучасна модель технічного нагляду є цілісною екосистемою, де персональна компетентність фахівця помножена на потужний цифровий інструментарій, а нормативні вимоги стають основою для побудови безпечного та надійного середовища [15, 16, 18].

Враховуючи вищевикладене, аналіз зарубіжного досвіду свідчить про доцільність інтеграції в українську практику елементів цифрової верифікації та системного накопичення «банків знань» про дефекти [14, 16, 18]. Отримані результати та узагальнені міжнародні підходи створюють необхідну базу для розробки власної концепції підвищення ефективності технічного нагляду. В результаті, спираючись на виявлені переваги та обмеження зарубіжних моделей, можливо розробити авторську матричну модель технічного нагляду, яка адаптована до умов цифрової трансформації будівельної галузі України в рамках ЄДЕССБ.

1.3. Нормативні вимоги та інституційні виклики здійснення технічного нагляду на об'єктах відновлення

Забезпечення прозорості відновлення будівельної інфраструктури України в умовах міжнародного фінансування вимагає безпрецедентного рівня довіри та підзвітності. Як зазначається у колективній монографії за ред. В. А. Омеляненка [19], ефективна реалізація інноваційних стратегій відновлення є не лише інженерним завданням, а критичним чинником інтеграції України до

європейського економічного простору. У цьому контексті якість технічного нагляду стає ключовим інструментом запобігання корупційним ризикам та нецільовому використанню коштів.

Відповідно до Керівних принципів Імплементції Програми з відновлення України [20], що враховують вимоги Європейського Інвестиційного Банку та українського законодавства для подолання наслідків війни в Україні при виборі проектів пріоритет надається:

- будівництво (нове будівництво, реконструкція, капітальний ремонт) громадських будівель: заклади освіти, заклади охорони здоров'я, центри надання адміністративних послуг;

- реконструкція, капітальний ремонт критичної інфраструктури (водопостачання та водовідведення, теплопостачання);

- реконструкція, капітальний ремонт будівель для забезпечення житлом внутрішньо переміщених осіб та осіб, які його втратили внаслідок військової агресії Російської Федерації.

Реалізація всіх цих проектів в рамках Програми з відновлення України вимагає залучення технічного нагляду, оскільки Мінінфраструктури як відповідальний виконавець «...проваджує і підтримує систему управління якістю, яка гарантує, що цілі Проекту повністю досягаються, у тому числі (без обмежень) те, що якість будівельних робіт повністю відповідає будівельним стандартам передової практики, і що хід виконання будівельних робіт реєструється в журналі робіт на будівельному майданчику..". При цьому, у контексті національних процедур закупівель, послуги здійснення технічного нагляду вважаються роботами у розумінні Закону про закупівлі [21].

Для здійснення технічного нагляду вимагається призначення інженера з технічного нагляду, який має кваліфікаційний сертифікат, що дає йому право виконувати технічний нагляд за будівельними роботами, включаючи:

- загальний нагляд та нагляд за будівництвом, робіт та матеріалів;

- постійний моніторинг проекту та проведення інспекції (щодо документів, що вимагаються законодавством, якість та кількість використаних матеріалів тощо);

- інформування Клієнта та за запитом Мінінфраструктури /ТД про невідповідність продукції, матеріалів та обладнання вимогам нормативних документів;

- ведення обліку первинної та виконавчої документації з будівництва, внесення змін, отриманих внаслідок виявлення недоліків (дефектів) під час виконання робіт, ведення обліку результатів технічного нагляду та обліку інформації про порушення, виявлених під час виконання робіт у робочому журналі;

- щомісячні звіти кінцевому бенефіціару та за запитом Мінінфраструктури / ТД;

- підписання актів прийняття робіт та встановлення в експлуатацію встановленого обладнання;

- інформування Клієнта (кінцевого бенефіціара), за запитом Мінінфраструктури / ТД та відповідного органу державної інспекції про порушення конструкторських рішень, здійснених під час будівництва об'єкта, та відмову будівельної компанії їх усунути.

Серед даних функцій слід окремо виділити щомісячні Звіти, надання яких вимагається в проектах, виходячи з міжнародної практики, але не передбачені діючою нормативною документацією, що регулює діяльність технічного нагляду. Єдиний документ, де вимагається від інженера технічного нагляду надання звітів – Методика визначення вартості дорожніх робіт та послуг [22] яка передбачає оплату послуг технічного нагляду на підставі актів приймання наданих послуг, до яких додається звіт про надання послуг.

Детальні функції технічного нагляду уточнюються в договорах. Шаблон Звіту про технічний нагляд має бути розроблений Мінінфраструктури та стати невід'ємною частиною Договору на послуги технічного нагляду.

Окрім цього, виконавець технічного нагляду має нести основну відповідальність за повсякденну діяльність у межах своєї проектів та серед іншого будуть відповідати за:

- забезпечення відповідності діяльності затвердженому проекту та чинному законодавству (в тому числі щодо охорони здоров'я та безпеки праці) та мати всі необхідні дозволи;
- взаємодію із зацікавленими сторонами, розгляд скарг та вирішення питань, пов'язані із процесом будівництва/реабілітації/модернізації;
- моніторинг впливу субпроекту на навколишнє середовище та на громади;
- звітування Організатору (або іншій уповноваженій стороні) про виконання еколого-соціальних питань субпроекту.

Попри детальний перелік функцій, закріплений у міжнародних та національних документах, практична реалізація технічного нагляду в Україні демонструє суттєві інституційні диспропорції, що підтверджується результатами галузевих антикорупційних досліджень.

Експерти Антикорупційної ініціативи Європейського Союзу підготували звіт [23] в якому представлено результати оцінки корупційних ризиків у функціонуванні технічного нагляду. В даному звіті проаналізовано:

- ризики на етапі проведення закупівель робіт;
- договірні умови між замовником та технічним наглядом робіт;
- основні завдання та функції технічного нагляду.

Згідно з результатами цього звіту, діяльність інституту технічного нагляду залишається недостатньо врегульованою, перетворюючись на джерело значних корупційних ризиків: від непрозорих процедур закупівель до відсутності дієвих механізмів відповідальності.

Дослідження вказує на те, що чинна нормативна база, зокрема нормативи щодо укладання прямих договорів, створює прецеденти для «кулуарного» формування кола виконавців наглядових послуг. Це супроводжується встановленням дискримінаційних кваліфікаційних вимог, які, будучи технічно

«підігнаними» під конкретних виконавців, фактично нівелюють конкурентне середовище та обмежують ринок. Автори звіту підкреслюють, що заміна кадрового складу інженерів після перемоги в торгах є поширеною практикою маніпуляцій, що ставить під сумнів легітимність усього процесу нагляду.

Звіт констатує відсутність чіткої регламентації функцій технічного нагляду. Договірні умови між замовником та наглядом часто містять розмиті формулювання щодо обсягів, методології та періодичності вимірювань, що перетворює інженера на суб'єктивного арбітра, чії рішення важко оскаржити або перевірити.

Одним із найбільш суперечливих аспектів є прив'язка оплати послуг нагляду до відсотка від вартості прийнятих підрядних робіт. Ця модель фінансової залежності інженера від обсягів прийнятих робіт створює інституційний конфлікт інтересів, де якість нагляду приноситься в жертву фінансовій вигоді. Додатковим обтяженням є покладання на інженерів невластивих функцій, зокрема контролю за ціноутворенням на матеріали, що розмиває відповідальність за виконання прямих наглядових обов'язків.

Аналіз висвітлює критичну проблему відсутності стандартизованих форм звітності. Зауваження інженерів, дефекти чи відхилення від проекту часто залишаються неформалізованими або лише епізодично фіксуються в паперових документах, що унеможливорює створення повної картини стану будівництва та здійснення ефективного гарантійного контролю.

Отже, дане дослідження висвітлює цілу низку системних дефіцитів, зокрема: фаворитизм при укладанні прямих договорів, встановлення дискримінаційних вимог до учасників тендерів, маніпуляції з кваліфікаційним складом інженерів та повну відсутність типових форм звітності. Звіт констатує необхідність впровадження електронних журналів контролю, стандартизації звітності та посилення санкцій за порушення. Однак, попри деталізацію зазначених адміністративних викликів, в аналітичному матеріалі зберігається суттєва прогалина: запропоновані заходи залишаються на рівні косметичних змін нормативно-правової бази, не зачіпаючи фундаментальних засад управління проектами.

Залишається невирішеним ключове методологічне питання: як перетворити технічний нагляд із фрагментарного адміністративного контролю на цілісну, невід’ємну ланку будівельного виробництва? Поза увагою залишається питання механізмів внутрішньої координації учасників, де інженер технічного нагляду досі позбавлений реального впливу на превентивне управління якістю, перебуваючи у фінансовій та функціональній залежності від підрядника або замовника. Таким чином, діагностовані корупційні ризики є лише симптомами глибшої системної кризи, в якій інструменти нагляду не інтегровані в цифрову екосистему реального часу.

Відсутність єдиної методологічної бази, яка б об’єднувала вимоги нормативних актів, умови контрактів та цифрову звітність в одну управлінську модель, консервує існуючий стан справ. Це підсвічує «зону мовчання» у чинних регуляціях, де адміністративні приписи стикаються з неможливістю їх ефективної імплементації через відсутність науково обґрунтованого управлінського інструментарію. Ця невирішена проблема функціональної та методологічної ізоляції технічного нагляду від реальних бізнес-процесів будівництва і стає тим науковим полем, яке вимагає подальшого комплексного дослідження та переосмислення у межах цієї роботи

1.4. Систематизація науково-методичних підходів до оптимізації процесів технічного нагляду

Ефективне управління сучасними інвестиційно-будівельними проектами вимагає постійного вдосконалення методів контролю та нагляду на всіх етапах зведення об’єктів. Процес здійснення технічного нагляду традиційно вважається одним із найбільш трудомістких та відповідальних елементів організаційно-технологічного супроводу. Проте, як свідчить аналіз світових тенденцій, класичні паперові методики фіксації правопорушень та дефектів уже не відповідають сучасним темпам виробництва. У цьому контексті особливу актуальність мають дослідження, спрямовані на системну цифровізацію та автоматизацію наглядових процедур.

Фундаментальні дослідження у сфері інформаційного моделювання будівництва (BIM) переконливо доводять, що цифровізація змінює саму природу технічного нагляду. У класичній праці Ч. Істмана та його співавторів [24] наголошується, що BIM створює єдине середовище для колаборації, яке мінімізує кількість помилок ще до початку фізичного будівництва. Це підтверджується дослідженнями [25], в яких вказано на суттєве зниження ризиків та підвищення рентабельності при впровадженні цифрових двійників. Згідно з результатами Д. Брайда [26] та його колег, ключовою перевагою використання BIM на будівельному майданчику є саме економія часу на пошук та верифікацію проектної інформації, що є однією з найважливіших складових трудовитрат інженера технічного нагляду.

Б. Суккар [27] у своїй концептуальній основі застосування BIM доводить, що перехід до багатовімірних моделей (nD-моделювання, як це також розглядають Л. Дінг [28] зі співавторами) дозволяє здійснювати автоматизований комплаєнс-контроль (перевірку на відповідність нормам). Це напряму стосується технічного нагляду, оскільки автоматична перевірка геометрії конструкцій, про яку зазначають у праці [29], суттєво зменшує рутинне навантаження на інспектора.

Розвиток цих ідей прослідковується у працях М. Голпарвара-Фарда [30], де обґрунтовано використання фотограмметрії та щоденних фотозвітів з майданчика для автоматизованого моніторингу прогресу (шляхом накладання на IFC-моделі). Проте, як слушно зауважують Р. Волк [31] та Х. Ванг [32], імплементація таких систем вимагає серйозної перебудови організаційних структур та несе значні бар'єри сумісності, що виступає потужним ускладнюючим фактором.

Тенденції цифровізації дозвільних процедур та їхній вплив на адміністративне навантаження детально аналізуються європейськими вченими. Ф. Ноардо [33], та дослідницька група розглядають відкриті стандарти (OpenBIM, IFC) як основу для автоматизованої видачі дозволів на будівництво та проведення цифрових перевірок. Це корелює з вітчизняною специфікою впровадження ЄДЕССБ, де стандартизуються процеси документального оформлення робіт.

Р. Сакс [34] у своєму фундаментальному дослідженні перетину ощадливого виробництва та BIM-технологій обґрунтовує, що стандартизація інформаційних потоків усуває "втрати" на пошук інформації. Українські вчені [35], доповнюють цю тезу, адаптуючи принципи управління життєвим циклом та інжинірингу до українських реалій. Проте, як підкреслено в роботі [36], будь-яка автоматизація (в тому числі графіків перевірок) потребує чіткої концептуальної рамки, яка враховувала б непередбачуваність будівельного майданчика.

У цьому контексті особливого значення набуває науково-прикладне організаційно-технологічне моделювання девелоперських проєктів. Автори [37] доводять, що використання сучасних інформаційних систем для моделювання процесів та управління ресурсами дозволяє значно зменшити ризики, покращити координацію між учасниками проєкту та забезпечити повну відповідність планових показників реальним умовам будівництва. Така методологія моделювання є фундаментом для об'єктивного нормування та планування наглядових функцій.

Окрім того, варто відзначити роботи, присвячені проактивному (превентивному) контролю якості та безпеки. Х. Лі [38], та Х. Таррі [39] наголошують, що сучасні системи управління якістю ефективні лише тоді, коли інспектор (технічний нагляд) не просто фіксує порушення постфактум, а залучений до системи раннього виявлення дефектів за допомогою аналізу даних. Це, своєю чергою, вимагає чіткої функціональної спеціалізації (розподілу ролей) та розрахунку оптимальної частоти його виходів на об'єкт.

Окремим масивом досліджень є вивчення впливу безпілотних літальних апаратів та сенсорів на продуктивність інспектування. Дж. Ірізаррі та Д. Коста [40] одними з перших кількісно оцінили потенціал дронів для управління будівництвом. Їхні висновки доповнює Х. Г. Мартінез [41], який зазначає, що застосування дронів дозволяє здійснювати безпечний та швидкий огляд важкодоступних конструкцій, хоча це вимагає додаткового часу для попередньої підготовки та аналізу відеоматеріалів. Й. Тейзер [42] та М. Гейсарі [43] підкреслюють, що сенсорні технології та доповнена реальність (AR) стають невід'ємною частиною контролю

якості, однак їх використання не усуває необхідність фізичної присутності кваліфікованого інженера для прийняття остаточних рішень.

Комплексний підхід до розв'язання проблеми фрагментарності контролю пропонують автори у роботі [44]. Дослідники обґрунтовують розвиток інтеграційних моделей управління операційними системами, вказуючи, що використання OLAP-інструментів для багатовимірного аналізу даних у реальному часі є ключовим для автоматизації звітності та моніторингу ключових показників ефективності (KPI). Це свідчить, що технічний нагляд потребує не лише впровадження окремих цифрових засобів, а їх об'єднання в єдину систему, яка забезпечує прозорість управлінських рішень та їх обґрунтованість на основі інтегрованих даних

Проблема підвищення ефективності контролюючих органів є предметом дослідження провідних міжнародних інституцій. Зокрема, у детальному звіті Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD) за 2024 рік, який присвячено реформуванню будівельного нагляду в країнах Європейського Союзу (на прикладі Литви) [45], чітко обґрунтовано необхідність кардинальної зміни підходів до інспектування. На основі аналізу великих масивів даних фахівці OECD доводять, що пряме збільшення кількості фізичних перевірок без використання цифрових інструментів не призводить до покращення якості будівництва, а лише збільшує бюрократичне та фінансове навантаження на систему. Головним висновком цього дослідження є рекомендація щодо переходу до ризик-орієнтованого контролю та створення єдиних цифрових платформ для збору даних, що дозволяє значно знизити загальну трудомісткість наглядових процесів.

Практичні аспекти реалізації таких цифрових платформ на рівні конкретних будівельних майданчиків активно досліджуються у закордонній науковій періодиці. Показовою у цьому плані є праця Л. Варандаса [46] з Університету Лісабона, яка повністю присвячена практичному впровадженню методологій BIM у процесі технічного нагляду. Автор проаналізував реальний кейс реконструкції та довів, що інтеграція даних технічного нагляду у тривимірну інформаційну модель будівлі кардинально змінює роботу інспектора. Замість тривалого вивчення стосів

паперових креслень та специфікацій безпосередньо на майданчику, інженер технічного нагляду отримує можливість оперативно звіряти фактично виконані геометричні параметри конструкцій із їхніми цифровими двійниками у програмах на кшталт Navisworks. Це не лише мінімізує ризик людської помилки чи пропуску прихованого дефекту, але й суттєво прискорює час проведення однієї інспекції.

На шляху до євроінтеграції будівельної галузі України критично важливим є перехід від формального контролю до комплексного управління якістю за європейськими зразками. У роботі [47] наголошено, що європейські моделі управління якістю інтегрують цифрові інструменти контролю та ризик-орієнтовані процедури, що суттєво підвищує безпечність об'єктів. Автори підкреслюють: фрагментарність нашої регуляторної бази та відсутність цифрової інтеграції є головними бар'єрами, які потребують негайного подолання через впровадження BIM-технологій та стандартизацію оцінки відповідності.

В Україні дослідження можливостей інформаційного моделювання для оптимізації будівельного виробництва також мають тривалу наукову історію. Однією з фундаментальних праць у цьому напрямку є дослідження Ю. А. Чуприни [48]. Автор детально розглядає прикладні переваги впровадження BIM-технологій при формуванні всього життєвого циклу інвестиційно-будівельних проектів, зокрема в межах державних цільових програм. У роботі обґрунтовано, що використання єдиного інформаційного простору дозволяє координувати дії замовників, підрядників та контролюючих органів. А вже у монографії 2026 року Ю.А. Чуприни «Система когнітивно-інтеграційного моделювання організації будівництва» [49] акцентується увага на тому, що будівельний проект у середовищі сучасного девелопменту дедалі частіше постає як складна відкрита система, ефективність управління якою залежить не лише від точності технічних розрахунків, а й від здатності системи забезпечувати цілісне осмислення проектної ситуації всіма учасниками. Автор обґрунтовує тезу, що традиційні підходи до проектного менеджменту, засновані на лінійності процесів і формалізованому контролю, виявляються обмеженими в умовах високої динаміки змін, інформаційної насиченості та множинності взаємозв'язків між стейкхолдерами. Наукова дискусія,

ініційована у дослідженні, підсвічує фундаментальну проблему: розрив між високим рівнем інформатизації (зокрема, впровадженням ВІМ-технологій) та низькою здатністю управлінських команд трансформувати накопичені дані у дієві знання. Це призводить до виникнення «когнітивних розривів», які проявляються у дублюванні функцій, конфліктах інтерпретацій та зниженні загальної керованості об'єктів.

Проте, якщо у працях Ю. А. Чуприни інформаційне моделювання розглядається здебільшого як інструмент загального менеджменту та планування, то у сучасніших вітчизняних дослідженнях акцент зміщується безпосередньо на технологічні процеси контролю якості.

Розвиваючи цю тематику, Р. Жалдак та його співавтори у своїй статті [50] запропонували конкретні шляхи повної інтеграції технічного нагляду в сучасне ВІМ-середовище. Науковці доводять, що традиційний технічний нагляд сьогодні є дискретним (тобто переривчастим), оскільки інженер приходить на об'єкт лише періодично. Для переходу до безперервного автоматизованого науково-технічного супроводу автори пропонують поєднувати ВІМ-моделі з технологіями Інтернету речей (ІоТ), хмарними сервісами та лазерним скануванням. За результатами їхнього моделювання, такий підхід дозволяє реалізувати концепцію превентивного будівельного контролю. Інформаційна система може самостійно сигналізувати про відхилення від проекту ще до того, як конструкція буде повністю змонтована, що кардинально знижує витрати часу на виправлення браку та економить робочий час самого інспектора.

Цифровізація будівельного контролю, безумовно, важливий крок. Проте фундаментальною основою організації нагляду залишається юридичний розподіл ролей на майданчику. У світовій практиці золотим стандартом такого розподілу є проформи Міжнародної федерації інженерів-консультантів (FIDIC).

Еволюція цих стандартів показує чіткий тренд. Відбувається поступовий перехід від жорсткого адміністрування до партнерського управління ризиками. Це фундаментально описав Н. Бунні [51]. Інженер-консультант має унікальний дуалістичний статус. Цю подвійність підкреслюють науковці у своєму дослідженні

[52]. З одного боку, він є агентом Замовника, а з іншого боку, зобов'язаний бути абсолютно неупередженим у вирішенні суперечок між Замовником та Підрядником. Такий статус створює шалене психологічне та організаційне навантаження.

В роботі [53] доведено, що саме Інженер першим оцінює вплив будь-яких ускладнюючих факторів (наприклад, непередбачуваних фізичних умов). А оновлені редакції FIDIC 2017 року ще більше ускладнили ситуацію. Г. С. Йегер та Г. Хьок [54] вказують на жорстку формалізацію процедур повідомлень та претензій. В результаті Інженер витрачає левову частку часу на документування рішень. Це вимагає радикального перегляду підходів до нормування його праці.

Міжнародне будівельне право розглядає ускладнюючі фактори крізь призму розподілу ризиків. Л. Клі в своєму дослідженні [55] зазначає ключовий принцип FIDIC: ризик передається тій стороні, яка може найкраще ним управляти. Цю тезу підтверджено в роботі [56] в якій детально розібрано алгоритми дій інженера при форс-мажорних обставинах. Ефективність проекту напряму залежить від комунікації [57]. Якщо Замовник обмежує повноваження Інженера, неминуче виникають затримки у прийнятті рішень.

В працях [58, 59]. наголошено на дуже тонкій межі відповідальності. Інженер несе професійну відповідальність за неякісний контроль. Проте його не можна звинувачувати за дефекти методів виконання робіт. Така специфіка вимагає високої кваліфікації. Відповідно, в роботі [60] вказано на об'єктивну необхідність вузької спеціалізації наглядового персоналу.

Впровадження проформ FIDIC в Україні супроводжується правовими колізіями, що формують ще одну групу ускладнюючих факторів. У вітчизняній науці цей напрямок розробляється досить активно. Ю. Г. Прав та О. М. Непомнящий у своєму спільному дослідженні [61] аналізують стан фінансування будівельних проектів міжнародними фінансовими організаціями. Вони зазначають, що залучення міжнародних інвестицій неминуче вимагає переходу на стандарти FIDIC, що докорінно змінює функції інженера на майданчику.

Проблема розмежування функцій стоїть дуже гостро. Т. А. Сухоставець звертає увагу на дублювання повноважень між інженером-консультантом та інженером технічного нагляду [62]. Замовник має право делегувати нагляд третій особі. Але контракти FIDIC не є нормативними актами в Україні. Через цю правову прогалину фахівець часто змушений вести документацію за двома стандартами одночасно. Це катастрофічно збільшує його трудовитрати.

Окрім правових та організаційних чинників, суттєвий вплив на трудомісткість нагляду має стан матеріально-технічного забезпечення. У роботі [63] обґрунтовано, що МТЗ є стратегічним чинником конкурентоспроможності, а недостатня організованість постачання призводить до затримок, які змушують інженера технічного нагляду до частих позапланових виходів на об'єкт. Автори доводять, що інтеграція ERP-систем та хмарних платформ у процес управління ресурсами дозволяє мінімізувати ці ускладнюючі фактори, підвищуючи прозорість та керованість будівельного виробництва.

Ще гірша ситуація з фінансовим забезпеченням технічного нагляду. О.В. Командиров досліджував ціноутворення та будівельно-технічну експертизу [64]. В Україні вартість послуг технічного нагляду розраховується як фіксований відсоток від вартості будівництва. Такий підхід використовується досить часто, але поряд з цим, використовують і оплату послуг за трудовитратами. Так, в праці [65] описано світову практику при якій оплата Інженера базується на реальних трудовитратах, чисельності залученого персоналу та кваліфікаційних ставках.

Питання визначення норм часу, розрахунку продуктивності та кількісного оцінювання трудовитрат є одними з найскладніших у теорії управління будівництвом. Класичні дослідження Х. Р. Томаса [66] вказують на те, що базові показники продуктивності дуже чутливі до впливу ускладнюючих факторів (complexity factors) та організаційних збоїв. А. С. Ганна [67] у своїх працях математично довів, що понаднормова робота або порушення ритмічності процесів (що часто є наслідком несвоєчасного технічного нагляду) викликає експоненційне падіння продуктивності.

Це напряму б'є по технічному нагляду. Якщо підрядник зриває графік або починає працювати понаднормово, інженер змушений екстрено коригувати частоту своїх виходів на об'єкт. В роботі [68] глибоко досліджено дивергенцію показників продуктивності. Згідно з їхніми висновками, саме інноваційні технології є головним драйвером оптимізації трудовитрат на майданчику. Цю ж тезу К. Т. Хаас розвиває у своїй окремій фундаментальній праці про цінність технологій [69]. Інвестиції в цифрові інструменти завжди окупаються економією часу, що є критично важливим для дорогих інжинірингових послуг.

У контексті контролю та нагляду важливі висновки зробив Р. Навон [70], який запропонував моделі автоматизованого контролю виконання проекту. Однак, у всіх цих зарубіжних дослідженнях трудовитрати самого контролюючого персоналу (інспекторів) часто виносяться за дужки, що робить розробку вітчизняних методик розрахунку норм часу технічного нагляду ще більш актуальною.

Під час здійснення технічного нагляду за будівництвом інженер постійно стикається з різними ускладнюючими факторами, які впливають на тривалість та складність його роботи. Щоб правильно оцінити та розрахувати трудомісткість технічного нагляду, ці фактори потрібно чітко класифікувати та перевести в математичні моделі. Наприклад, як зазначають у своєму дослідженні О. Ф. Осипов та С. О. Осипов [71], ефективність будь-яких будівельних процесів залежить від того, наскільки точно ми можемо формалізувати умови виробництва. Автори пропонують групувати фактори впливу у три основні категорії складності: характеристики самого об'єкта, специфічні умови виконання робіт та параметри фронту робіт. Для нашого дослідження такий підхід є базовим, оскільки дозволяє створити багатомірний факторний простір для розрахунку витрат часу інженера технічного нагляду залежно від конкретних обставин на будівельному майданчику.

Додатково, для формалізації процесів ухвалення рішень у складних умовах, доцільно використовувати підходи, запропоновані у [72]. Дослідники наголошують, що математичне та економічне моделювання дозволяє не лише формалізувати бізнес-процеси, а й кількісно оцінювати ризики при впровадженні

стратегічних змін. Для технічного нагляду це створює методологічну базу для розрахунку оптимальних наглядових сценаріїв, що враховують як технічні, так і фінансово-економічні показники проекту.

Крім безпосередніх умов на майданчику, на організацію технічного нагляду впливає ширше середовище. За результатами спільних досліджень О. А. Тугая, О. Ф. Осипова та їхніх співавторів [73], будь-який будівельний проект піддається впливу значної кількості зовнішніх та внутрішніх ризиків. Дослідники вказують, що макроекономічні зміни, технологічні інновації та оновлення нормативно-правової бази можуть як сприяти реалізації проекту, так і створювати додаткові перешкоди. Саме тому для оцінки таких ризиків вони пропонують використовувати багатокритеріальний аналіз та економіко-математичне моделювання. У контексті технічного нагляду це означає, що інженер має враховувати ці зовнішні змінні (фактори впливу), щоб вчасно адаптувати графік своїх перевірок, оптимізувати ресурси та попередити можливі відхилення від проекту.

Щоб впоратися з цією кількістю ускладнюючих факторів та оптимізувати свою роботу, фахівцям з технічного нагляду необхідні сучасні інструменти. У цьому напрямку показовими є висновки О. Ф. Осипова та О. М. Ємельянової щодо переваг впровадження інформаційних технологій. Як зазначають автори у своїй статті [74], об'єднання BIM-моделювання, Інтернету речей (IoT) та хмарних систем дозволяє контролювати матеріальні й інформаційні потоки в режимі реального часу. Для здійснення технічного нагляду такі цифрові екосистеми є критично важливими, адже вони усувають зайву ручну роботу та зменшують координаційні втрати під час перевірок. За результатами моделювання, яке наводять дослідники, використання автоматизованих систем та алгоритмів оптимізації дозволяє скоротити тривалість окремих виробничих операцій на 35-38%. Відповідно, застосування подібних цифрових рішень у практиці технічного нагляду створює реальні передумови для зниження його трудомісткості та підвищення загальної якості будівельного контролю.

Фундаментальні передумови побудови процесів адміністрування в цифровому середовищі розглянуто у праці [75], де автор наголошує на необхідності

інтеграції класичних управлінських підходів із сучасними цифровими практиками (BIM, ERP, CRM, IoT). У дослідженні доведено, що формування єдиного інформаційного простору, до якого мають доступ всі учасники процесу, забезпечує швидке прийняття управлінських рішень та підвищує відповідальність сторін. Це підтверджує, що технічний нагляд в сучасних умовах є не відокремленою контрольною функцією, а складовою цілісної системи адміністрування життєвого циклу об'єкта.

Комплексний підхід до модернізації діяльності будівельних підприємств розкрито у роботі [76], де автори акцентують увагу на формуванні інноваційної системи як ключового чинника конкурентоспроможності. Дослідники обґрунтовують, що інноваційний розвиток має охоплювати не лише технічне оновлення, а й адаптацію організаційних структур та впровадження гнучких бізнес-моделей. Для цілей технічного нагляду це означає, що перехід до автоматизованого моніторингу має супроводжуватися відповідними змінами у системі управління самим наглядом підрозділом, що забезпечить його здатність адаптуватися до вимог цифровізації та підвищення ефективності проекту.

Дослідження актуальних тенденцій цифровізації в Україні, наведені у [77], підтверджують, що впровадження технологій IoT, штучного інтелекту та 3D-друку в будівництво є критично важливим для підвищення продуктивності. Автори підкреслюють, що цифрова трансформація не лише оптимізує витрати на матеріали та робочу силу, а й є необхідною умовою для забезпечення безпеки та якості будівельних об'єктів. А, отже, інженер технічного нагляду повинен володіти цифровими інструментами моніторингу для забезпечення якісного контролю в сучасних умовах.

Попри доведену ефективність цифрових методів нагляду, їхнє реальне впровадження на практиці стикається з серйозним опором та організаційними труднощами. Ці проблеми детально досліджуються як вітчизняними, так і зарубіжними вченими, які намагаються класифікувати перешкоди на шляху модернізації галузі. У цьому контексті важливе значення має праця Ф. Г. Фельдманна [78], присвячена вивченню бар'єрів при впровадженні

автоматизації у збірному та модульному будівництві. Автор провів глибокий аналіз виробничих процесів і виділив три великі групи бар'єрів: високі початкові фінансові інвестиції, брак цифрових компетенцій у лінійного персоналу (ІТ-бар'єри) та консервативні, застарілі державні будівельні стандарти.

Як слушно зазначено у дослідженні [79], впровадження цифрових технологій не слід розглядати виключно як технічне оновлення; це стратегічний вектор формування нової архітектури інвестиційного менеджменту в умовах повоєнної відбудови. Автори доводять, що саме технічний нагляд, озброєний цифровими платформами для моделювання, моніторингу та контролю виконання робіт, стає необхідною умовою для мобілізації міжнародних фінансових ресурсів, оскільки забезпечує прозорість використання коштів та гарантує відповідність об'єктів міжнародним стандартам якості. У цьому контексті технічний нагляд трансформується з формальної контролюючої функції у високотехнологічну ланку управління інвестиціями.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз законодавства свідчить про наявність розбіжностей у функціональному визначенні обов'язків інженерів технічного нагляду між різними нормативними актами та примірними договорами. Встановлено, що відсутність чіткої регламентації функцій, зокрема щодо звітності та контролю за якістю, призводить до неоднозначних тлумачень, що створює значні корупційні ризики та знижує ефективність контролю

2. Світовий досвід (зокрема стандарти ІВС, Велика Британія) демонструє успішний перехід до динамічних моделей нагляду, інтегрованих у цифрові середовища. Однак в Україні впровадження цих підходів стримується певними інституційними бар'єрами.

3. Впровадження цифрових технологій у процес технічного нагляду має розглядатися не як локальне технічне оновлення, а як стратегічний інструмент формування прозорої архітектури проекту. Доведено, що технічний нагляд,

озброєний цифровими інструментами, є критично важливою умовою для мобілізації міжнародних фінансових ресурсів та забезпечення їх цільового використання

4. Дослідження українських та зарубіжних вчених доводить, що ефективність управління залежить від здатності системи формувати «когнітивний простір», який забезпечує цілісне осмислення ситуації учасниками проекту. Встановлено, що інтеграція ВІМ-технологій у процеси технічного нагляду дозволяє трансформувати дискретні контрольні процедури в цілісний науково-технічний супровід.

Основні результати дослідження, викладені в розділі 1 представлено в публікаціях автора [1, 2]

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Методичні підходи до удосконалення моделі діяльності служби технічного нагляду в цифровому середовищі

Будівельна галузь України сьогодні одночасно вирішує два критичні завдання: повномасштабне відновлення зруйнованого фонду та впровадження новітніх інтелектуальних технологій. Еволюція сучасного будівництва призвела до того, що об'єкти стають складними інженерними системами, які поєднують капітальність архітектурних рішень із передовими алгоритмами управління енергоресурсами та безпекою.

Проте існуюча нормативно-правова та організаційна модель технічного нагляду залишається жорстко обмеженою «універсальним» підходом [80]. Чинна модель організації технічного нагляду в Україні передбачає делегування повноважень одному сертифікованому інженеру для контролю всього технологічного циклу будівництва від земляних робіт до пусконаладження високотехнологічних систем автоматизації та пожежної безпеки. На відміну від дорожньої галузі, де вже впроваджено спеціалізовані інженерні підходи, цивільне та промислове будівництво досі спирається на застарілу уніфіковану модель. Оскільки обсяг нормативно-технічної документації для кожного окремого сегмента галузі є надмірним, один фахівець фізично не може забезпечити глибоку експертизу в усіх напрямках. Це призводить до формалізації наглядових процедур і підвищує ризик виникнення прихованих дефектів. Особливого значення це набуває на об'єктах із високим ступенем автоматизації, де потрібні вузькі специфічні знання.

З огляду на вищезазначене, актуальною є потреба у формуванні моделі функціональної спеціалізації технічного нагляду. Доцільним є перехід від традиційної лінійної схеми контролю до матричної структури, яка передбачає диференціацію наглядових функцій та закріплення профільних спеціалістів за визначеними технологічними кластерами об'єкта будівництва.

Аналіз існуючих наукових праць українських та зарубіжних вчених свідчить, що більшість авторів фокусуються на загальних аспектах цифровізації та правового регулювання галузі. Зокрема, досліджуються механізми взаємодії учасників будівництва в межах електронних систем та питання юридичної відповідальності інженерів [81, 82]. Проте проблема професійної спеціалізації фахівців як інструменту управління якістю залишається недостатньо висвітленою.

Сучасні закордонні дослідження все частіше розглядають технагляд як складну мультидисциплінарну систему, де саме функціональна спеціалізація є ключем до забезпечення якості. Так, у праці [83] технагляд визначається як спеціалізована функція, що потребує інтегрованої співпраці різних інженерних дисциплін, зокрема через необхідність глибокої експертизи в межах структурного інжинірингу (нагляд за фундаментами, каркасами тощо). Крім того, у межах концепції «Industry 4.0» автори видання [84] пропонують стратегічні «дорожні карти» впровадження цифрових технологій для підвищення ефективності нагляду.

Особливої уваги потребує вивчення передового міжнародного досвіду, закріпленого, зокрема, у Міжнародному будівельному кодексі (International Building Code, IBC) [85], вказує на те, що світова практика вже давно базується на принципі диференційованого контролю. Відповідно до положень IBC, проведення спеціальних інспекцій довіряється виключно фахівцям, які підтвердили свою компетентність у конкретних вузькоспеціалізованих галузях: від контролю сталевих та бетонних конструкцій до перевірки складних механічних та електричних компонентів. Такий підхід прямо суперечить існуючій в Україні практиці універсального технічного нагляду і підтверджує, що для забезпечення надійності складних об'єктів необхідне залучення фахівців з відповідною вузькою сертифікацією для кожного типу робіт.

2.2. Методичні засади обґрунтування частоти виходів інженерів технічного нагляду на об'єкт будівництва

Здійснення технічного нагляду за будівництвом об'єктів архітектури являється обов'язковим, оскільки забезпечує контроль за дотриманням проектних рішень та будівельних норм і правил, а також контроль за якістю виконаних робіт та їх обсягами під час будівництва об'єкту архітектури. Але якість такого контролю залежить в тому числі, від того, скільки часу інженер з технічного нагляду провів на об'єкті під час виконання будівельних робіт. А у випадку, коли будівельні роботи проводяться на великих масштабних об'єктах в декілька змін, має значення кількість інженерів з технічного нагляду, що надають такі послуги. Тому актуальним є визначення доцільності встановлення критеріїв, які дали б можливість встановити додаткові вимоги до здійснення технічного нагляду, що сприяло б підвищенню його якості.

Технічний нагляд в наукових дослідженнях частіше розглядається в розрізі нормативного регулювання діяльності та функцій, що покладаються на інженера з технічного нагляду [1, 86]. Про необхідність обґрунтування трудовитрат на технічний нагляд сказано в дослідженнях науковців Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, де вказується на те, що фактичні трудовитрати виконавців технічного нагляду нормативно не встановлено і це може бути предметом спору [87].

В Україні законодавчими та нормативними документами визначено, що технічний нагляд забезпечує замовник (забудовник) протягом усього періоду будівництва об'єкта з метою здійснення контролю за дотриманням проектних рішень та вимог державних стандартів, будівельних норм і правил, а також контролю за якістю та обсягами робіт, виконаних під час будівництва або зміни (зокрема шляхом знесення) такого об'єкта. Але, таке формулювання вимоги здійснювати технічний нагляд протягом усього періоду будівництва нічого не говорить про те, скільки часу впродовж періоду будівництва інженер з технічного нагляду має бути присутній на об'єкті будівництва.

Примірною формою договору про здійснення технічного нагляду у будівництві (далі – Примірна форма договору) [7] встановлено, що початок та закінчення надання послуг зі здійснення технічного нагляду визначається календарним планом надання послуг. Такий календарний план є невід’ємною частиною Договору та має відповідати Календарному графіку виконання будівельних робіт. Додатком 1 до Примірної форми договору встановлено форму календарного плану надання послуг зі здійснення технічного нагляду яка, окрім переліку послуг та строку їх надання (початку та закінчення), передбачає відомості про їх обсяг (кількість людино-днів чи людино-місяців). Дані про обсяг послуг, що по-суті є трудовитратами інженера технічного нагляду, мають бути використані і при розрахунку договірної ціни надання послуг зі здійснення технічного нагляду (Додаток 3 до Примірної форми договору) та при оформленні акту приймання наданих послуг зі здійснення технічного нагляду (Додаток 4 до Примірної форми договору). Хоча примірною формою договору передбачена необхідність прописування в договорі переліку послуг та їх обсягу (трудомісткості), але норм витрат часу на такі послуги чинною нормативною базою не передбачено.

Тобто, наявні нормативні документи не дають відповіді щодо питання частоти виходів інженера технічного нагляду на об’єкт будівництва чи необхідності безперервного його знаходження на об’єкті.

Разом з тим, пунктом 1.3 Примірної форми договору встановлено, що виконавець здійснює технічний нагляд через відповідальних виконавців – інженерів з технічного нагляду, які мають кваліфікаційний сертифікат інженера технічного нагляду. Це положення дозволяє припустити, що чинним законодавством передбачена можливість здійснення технічного нагляду на об’єкті будівництва кількома сертифікованими інженерами технічного нагляду. Особливо важливою є така можливість на масштабних об’єктах будівництва або при виконанні будівельних робіт у кілька змін. Фактично, на багатьох об’єктах будівництва саме так і відбувається. Але, при цьому залишається неврегульованими низка питань:

- від чого залежить кількість інженерів з технічного нагляду, яких слід залучити до здійснення технічного нагляду на об'єкті;

- якщо об'єкт будівництва має, наприклад, клас наслідків (відповідальності) СС3, то всі залучені інженери технічного нагляду мають мати відповідний сертифікат (бути провідними інженерами технічного нагляду) чи виконавець може сформувати команду з сертифікованих інженерів технічного нагляду різного рівня кваліфікації, які будуть працювати під керівництвом провідного фахівця.

Для встановлення можливих критеріїв щодо частоти виходів інженерів з технічного нагляду на об'єкт, проаналізуємо наявний іноземний досвід [88]. Так, відповідно до рекомендацій Міжнародної федерації інженерів-консультантів FIDIC [89], вимоги до частоти відвідування об'єкту будівництва встановлюються відповідно до рівня складності технічного нагляду.

Рівень складності технічного нагляду залежить від розміру проекту, складності проекту, досвіду підрядної організації та можливих наслідків недотримання технічних рішень. В залежності від значення цих критеріїв визначається коефіцієнт по якому й визначають рівень складності технічного нагляду (Таблиці 2.1).

Таблиця 2.1 – Матриця складності проекту для визначення значення К для конкретного проекту

Позначення	Критерії	Оцінка значення			
		малий	середній	великий	масштабний
К _А	Розмір проекту	1	2	3	4
		рутинний	середній	складний	
К _В	Складність проекту	2	4	6	
		недосвідчений	досвідчений	сертифікований ISO	
К _С	Відповідний досвід підрядника	6	2	1	
		незначні	помірні	серйозні	критичні
К _Д	Наслідки недотримання норм	1	4	6	12

Джерело: рекомендації Міжнародної федерації інженерів-консультантів FIDIC [89]

За наведеною матрицею визначається коефіцієнт К по якому визначають рівень складності технічного нагляду (Таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Рівень складності технічного нагляду

К	СМ1	СМ2	СМ3	СМ4	СМ5
5-6	-	тільки вибірково	-	-	-
7-8	-	не виконується	щотижнево	-	-
9-10	-	не виконується	2 рази в тиждень	-	-
11-12	дублюючий нагляд	не виконується	не виконується	2 рази в тиждень	-
13-14	дублюючий нагляд	не виконується	не виконується	через день	-
15-16	не виконується	не виконується	не виконується	щодня	-
17+	не виконується	не виконується	не виконується	не виконується	постійно

Джерело: рекомендації Міжнародної федерації інженерів-консультантів FIDIC [89]

При цьому, частота технічного нагляду залежить від швидкості виконання будівельних робіт та визначається для кожного окремого об'єкту. Таким чином, в залежності від необхідної частоти нагляду за будівництвом, визначають складність технічного нагляду:

Перший рівень (СМ1) застосовується виключно як допоміжна функція у ситуаціях, коли основний відповідальний контроль здійснюється іншим фахівцем. Ця модель передбачає нагляд за якістю робіт протягом усього періоду експлуатації об'єкта до завершення гарантійних зобов'язань підрядника.

Другий рівень (СМ2) доцільний для реалізації невеликих типових об'єктів, де залучається підрядна організація з високим рівнем професійної репутації, що дозволяє допустити певний рівень ризику щодо можливих відхилень. Інженер відвідує майданчик вибірково – для приймання ключових конструктивних вузлів

та перевірки якості матеріалів, проте цей рівень вимагає наявності основного контролю, який забезпечує інша уповноважена особа.

Третій рівень (СМ3) розрахований на середні за масштабом об'єкти з усталеною технологією виконання робіт. Надійність кінцевого результату тут базується на високому рівні кваліфікації підрядника, а функції нагляду зосереджені на перевірці найбільш відповідальних етапів робіт та їх відповідності проектним специфікаціям і галузевим стандартам.

Четвертий рівень (СМ4) передбачає проведення систематичного нагляду за переважною більшістю будівельно-монтажних операцій. Він є оптимальним для об'єктів, де необхідно максимально мінімізувати ризики недотримання будівельних норм та відхилень від проектної документації.

П'ятий рівень (СМ5) є обов'язковим для масштабних проектів, реалізація яких пов'язана з критичними наслідками у разі виникнення аварійних ситуацій або передбачає застосування складних інноваційних рішень. За цієї моделі інженер технічного нагляду здійснює постійну присутність на майданчику, що дозволяє забезпечити безперервний контроль кожного етапу робіт і гарантує повну відповідність кінцевого продукту державним будівельним нормам та вимогам замовника.

Встановлено, що діючі нормативні документи не встановлюють вимог до частоти відвідувань об'єктів будівництва при здійсненні технічного нагляду. Частота візитів інженера технічного нагляду на об'єкт залежить від багатьох факторів, включаючи розмір і складність проекту, стадію будівництва, ризики та вимоги замовника. Інженери з технічного нагляду зазвичай відвідують будівельні майданчики на регулярній основі, але конкретні графіки мають бути визначені ще на етапі планування будівництва. Наприклад, на ранніх стадіях будівництва інженер технічного нагляду може відвідувати об'єкт щодня, а потім зменшити частоту візитів до одного-двох разів на тиждень або навіть рідше, коли будівництво вже буде стабільним і ризики будуть знижені.

Складність управління якістю в будівництві полягає у наявності великої кількості факторів впливу, які мають різну природу.

Як зазначають у своїх працях класики економетричного аналізу Д. Гуджараті [90] та Дж. Вулдрідж [91], для виявлення прихованих закономірностей у великих масивах історичних даних найбільш доцільним є використання методів багатовимірного регресійного аналізу. У контексті нашого дослідження, ми застосовуємо цей інструментарій до вибірки, сформованої на основі даних загального журналу робіт, для кількісного встановлення взаємозалежностей між складністю виконаних технологічних процесів, інтенсивністю присутності інженера технічного нагляду на майданчику та показниками виявлених дефектів чи виданих приписів.

Такий підхід дозволяє верифікувати гіпотезу про те, що саме функціональна спеціалізація нагляду та регулярність контролю є ключовими детермінантами мінімізації браку. У загальному вигляді модель зв'язку між організаційними факторами та рівнем дефектності записується у матричній формі класичної лінійної регресії:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (2.1)$$

де:

Y – вектор-стовпець значень залежної змінної розмірності $n \times 1$ (наприклад, кількість зафіксованих дефектів на n захватках);

X – матриця значень незалежних змінних розмірності $n \times (k+1)$ (параметри будівництва, темпи робіт, частота нагляду);

β – вектор невідомих параметрів моделі (коефіцієнтів регресії) розмірності $(k+1) \times 1$, які підлягають оцінюванню;

ε – вектор-стовпець випадкових залишків (похибок) розмірності $n \times 1$, що враховує вплив неврахованих у моделі факторів.

Оцінювання вектора невідомих параметрів β у програмному комплексі EViews здійснюється за методом найменших квадратів (МНК), критерієм якого є мінімізація суми квадратів залишків:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = (Y - X\beta)^T (Y - X\beta) \rightarrow \min \quad (2.2)$$

Такий підхід дозволяє перевести дані з журналів виконання робіт у точні ймовірнісні моделі, що повністю відповідає сучасній парадигмі ризик-орієнтованого управління в будівництві.

Будівельний процес характеризується наявністю якісних (атрибутивних) показників, які неможливо виміряти безпосередньо у фізичних величинах. Зокрема, до таких параметрів належить «Вид будівельних робіт» (наприклад, земляні, монолітні, оздоблювальні) та факт «Присутності/відсутності технічного нагляду» під час їх виконання.

Для введення цих якісних параметрів у кількісну математичну модель, відповідно до вказаної методології [90, 92], було застосовано апарат фіктивних змінних. Змінні приймають значення 1 (якщо подія відбулася або робота належить до певної категорії) та 0 (в іншому випадку).

Особливістю запропонованої в роботі моделі є використання ефектів взаємодії між видом робіт та присутністю нагляду. Базове рівняння регресії з урахуванням взаємодії факторів має вигляд:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 (X_{1i} \cdot X_{2i}) + \varepsilon_i \quad (2.3)$$

де:

Y_i – кількість виявлених дефектів на i -й захватці;

X_{1i} – фіктивна змінна присутності технічного нагляду (1 – присутній в момент виконання робіт, 0 – відсутній);

X_{2i} – фіктивна змінна виду робіт (1 – категорія робіт з високим ризиком, наприклад, монолітні; 0 – категорія з низьким ризиком).

Математичний сенс компонента взаємодії доводиться через розрахунок умовних математичних сподівань $E(Y|X)$. Розрахуємо очікувану кількість дефектів для різних сценаріїв:

1. Роботи низького ризику без нагляду ($X_1 = 0, X_2 = 0$):

$$E(Y|0,0) = \beta_0 \quad (2.4)$$

2. Роботи високого ризику без нагляду ($X_1 = 1, X_2 = 0$):

$$E(Y|1,0) = \beta_0 + \beta_1 \quad (2.5)$$

3. Роботи високого ризику без нагляду ($X_1 = 0, X_2 = 1$):

$$E(Y|0,1) = \beta_0 + \beta_2 \quad (2.6)$$

4. Роботи високого ризику з наглядом ($X_1 = 1, X_2 = 1$):

$$E(Y|1,1) = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 \quad (2.7)$$

Отже, граничний (маржинальний) ефект від присутності технічного нагляду для ризикових робіт становить $(\beta_1 + \beta_3)$, тоді як для неризикових – лише β_1 . Саме коефіцієнт взаємодії β_3 дозволяє математично довести диференційований підхід, за якого частота виходів технічного нагляду диктується рівнем технологічного ризику конкретного виду робіт, а не лише календарним графіком.

На відміну від дрібних дефектів, які можна усунути під час робочого процесу, критичний брак (наприклад, невідповідність класу міцності бетону, що вимагає підсилення чи демонтажу) розглядається в роботі як бінарна подія: $Y = 1$ (брак настав) або $Y = 0$ (брак відсутній).

Згідно з працями С.І. Наконечного [93], використання класичного методу найменших квадратів (МНК) для таких завдань є некоректним, оскільки лінійна ймовірнісна модель може видавати розрахункові значення поза межами діапазону $[0; 1]$. Тому для прогнозування ризику застосовано логістичну регресію (Logit-модель). В основі моделі лежить припущення про існування неспостережуваної (латентної) змінної Y^* , яка відображає приховану схильність конструкції до утворення критичного дефекту:

$$Y_i^* = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} + u_i \quad (2.8)$$

За умови логістичного розподілу похибки, ймовірність настання критичного браку розраховується через логістичну (сигмоїдальну) функцію:

$$P(Y_i = 1|X) = \frac{\exp(\beta_0 + \sum \beta_j X_{ji})}{1 + \exp(\beta_0 + \sum \beta_j X_{ji})} = \frac{1}{1 + e^{-Z_i}} \quad (2.9)$$

де $Z_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki}$ – інтегральний показник організаційно-технологічних умов.

Оцінка параметрів такої моделі в EViews здійснюється методом максимальної правдоподібності. Логарифмічна функція правдоподібності, яка максимізується під час розрахунків, має вигляд:

$$\ln L(\beta) = \sum_{i=1}^n [Y_i \ln P_i + (1 - Y_i) \ln(1 - P_i)] \rightarrow \max \quad (2.10)$$

Такий математичний апарат є ідеальною основою для формування «Матриці ризиків», оскільки дозволяє встановити точні граничні значення інтервалів (частоти) нагляду, при яких ймовірність браку $P(Y = 1)$ не перевищує нормативно допустимих меж.

Для підтвердження надійності отриманих математичних залежностей у роботі застосовується комплекс статистичних критеріїв перевірки гіпотез. Загальна адекватність лінійних моделей перевірялася за допомогою коефіцієнта детермінації (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.11)$$

де:

\hat{Y}_i – розрахункове значення кількості дефектів;

\bar{Y} – середнє фактичне значення;

R^2 показує, який відсоток варіації дефектів пояснюється залученням технічного нагляду. Для логістичних регресій (Logit) застосовувався аналог цього показника – псевдо- R^2 МакФаддена:

$$R_{McFadden}^2 = 1 - \frac{\ln L(\hat{\beta})}{\ln L(\tilde{\beta})} \quad (2.12)$$

Статистична значущість впливу окремих факторів нагляду визначалася за допомогою t-статистики Стюдента та аналізу р-значень. Фактор визнавався

значущим, якщо $p\text{-value} < 0,05$, що гарантує 95% довірчої ймовірності зроблених висновків.

Для забезпечення статистичної достовірності (валідності) результатів моделювання, емпіричну базу дослідження сформовано на основі первинної звітної документації реалізованих будівельних об'єктів. Відповідно до рекомендацій Дж. Вулдріджа щодо аналізу просторових даних, одиницею спостереження виступає окремий закінчений технологічний цикл (захватка).

Формування бази даних для імпорту в комплекс EViews здійснювалося шляхом зведення інформації з Журналів загальних робіт та Актів огляду прихованих робіт. Такий підхід забезпечив високу об'єктивність вхідних даних, виключивши вплив суб'єктивних чи комерційних факторів на результати економетричних розрахунків.

2.3. Методичні підходи до визначення оптимальної чисельності інженерів технічного нагляду

У сучасних умовах реалізації будівельних проектів, що характеризуються високою динамічністю виробничих процесів, багатоваріантністю технологічних рішень та зростанням вимог до якості і строків виконання робіт, особливої актуальності набуває питання підвищення ефективності системи технічного нагляду. Традиційні підходи до організації технічного нагляду, які базуються на фіксованій періодичності відвідування об'єкта (наприклад, декілька разів на тиждень), не враховують нерівномірність будівельних процесів, що призводить до виникнення простоїв, втрат ресурсів та зниження загальної ефективності будівельного проекту.

Водночас будівельний об'єкт доцільно розглядати як складну організаційно-технічну систему, в якій відбувається безперервний потік запитів на здійснення контрольних функцій: перевірка прихованих робіт, погодження матеріалів, вирішення технічних колізій, підтвердження відповідності виконаних робіт проектній документації. Обмежена кількість інженерів технічного нагляду, які

виконують функції контролю, зумовлює формування черг таких запитів, що безпосередньо впливає на темпи виконання будівельних робіт.

З огляду на це, доцільним є застосування апарату теорії масового обслуговування як інструменту формалізації процесу взаємодії між підрядником та службою технічного нагляду. У межах такого підходу будівельний процес інтерпретується як система масового обслуговування, де запити на перевірку виступають у ролі вхідного потоку заявок, інженери технічного нагляду – каналами обслуговування, а невиконані перевірки – чергою.

Теоретичною основою дослідження є положення теорії систем масового обслуговування, відповідно до яких складні організаційно-технічні процеси можуть бути представлені у вигляді систем із випадковим потоком заявок та обмеженою кількістю каналів обслуговування. Згідно з підходами, викладеними у праці А. Л. Литвинова, системи масового обслуговування класифікуються за характером вхідного потоку, законом розподілу часу обслуговування та кількістю обслуговуючих каналів, що дозволяє адекватно моделювати реальні виробничі процеси [94].

У контексті будівельного виробництва потік заявок на здійснення технічного нагляду може бути апроксимований найпростішим (пуассонівським) потоком, тоді як час виконання перевірок – експоненційним законом розподілу. Це дає підстави використовувати моделі типу $M/M/1$, які дозволяють визначити основні характеристики системи, зокрема ймовірність утворення черги, середній час очікування та коефіцієнт завантаження каналів обслуговування.

$M/M/1$ – це система масового обслуговування з одним каналом обслуговування, нескінченною чергою, показниковими законами розподілу інтервалів часу між надходженнями замовлень і часу обслуговування та дисципліною обслуговування FIFO [95].

У випадку, коли функції технічного нагляду на будівельному об'єкті виконує один інженер, доцільно застосовувати одноканальну модель масового обслуговування типу $M/M/1$.

$$\rho = \lambda / \mu \quad (2.13)$$

де:

λ – інтенсивність надходження заявок;

μ – інтенсивність обслуговування.

Система є стійкою лише за умови $\rho < 1$, що означає, що інженер встигає обробляти заявки швидше, ніж вони надходять.

Загальну логіку функціонування такої організаційно-технічної системи наведено на Рисунку 2.1

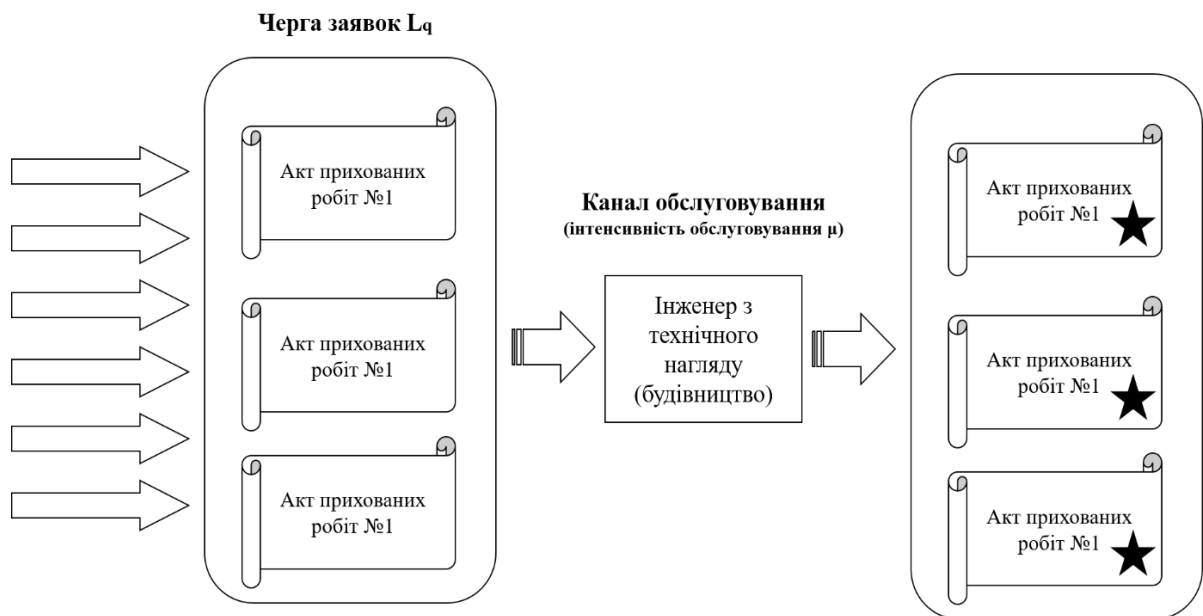


Рисунок 2.1 – Одноканальна модель здійснення технагляду М/М/1

Джерело: складено автором на основі [94, 95]

Для кількісної оцінки ефективності функціонування одноканальної системи технічного нагляду доцільно визначити основні аналітичні характеристики моделі М/М/1. До таких характеристик належать показники, що відображають середню кількість заявок у системі та черзі, а також часові параметри їх обслуговування. Зазначені показники дозволяють оцінити рівень завантаження інженера технічного нагляду, визначити можливі затримки у виконанні будівельних робіт та обґрунтувати необхідність оптимізації організації контрольних процесів. Основні розрахункові залежності наведено в Таблиці 2.3

Таблиця 2.3

Основні характеристики системи М/М/1

№	Показник	Позначення	Характеристика
1	Середня кількість заявок у системі	L	відображає загальну кількість заявок, що одночасно перебувають у системі (включаючи ті, що обслуговуються та очікують)
2	Середня кількість заявок у черзі	Lq	характеризує кількість робіт, які очікують перевірки інженером технічного нагляду
3	Середній час перебування заявки в системі	W	визначає загальний час перебування заявки в системі, включаючи очікування та безпосереднє обслуговування
4	Середній час очікування в черзі	Wq	показує середній час затримки виконання робіт до моменту їх перевірки

Джерело: сформовано автором на основі [94, 95]

Наведені характеристики є базовими для аналізу ефективності функціонування системи технічного нагляду та дозволяють оцінити вплив інтенсивності виконання будівельних робіт на рівень завантаження інженера з технічного нагляду.

Система масового обслуговування (СМО) М/М/п – це багатоканальна система з пуассонівським вхідним потоком заявок (інтенсивність), експоненціальним розподілом часу обслуговування (каналів, кожен з інтенсивністю) та необмеженою чергою. Вона використовується для розрахунку параметрів систем, де заявки обслуговуються паралельно.

У межах моделі M/M/n загальне завантаження системи визначається співвідношенням:

$$\rho = \lambda / n \cdot \mu \quad (2.14)$$

де:

λ – інтенсивність надходження заявок;

μ – інтенсивність обслуговування;

N - кількість каналів обслуговування.

Загальну логіку функціонування такої організаційно-технічної системи наведено на Рисунку 2.2

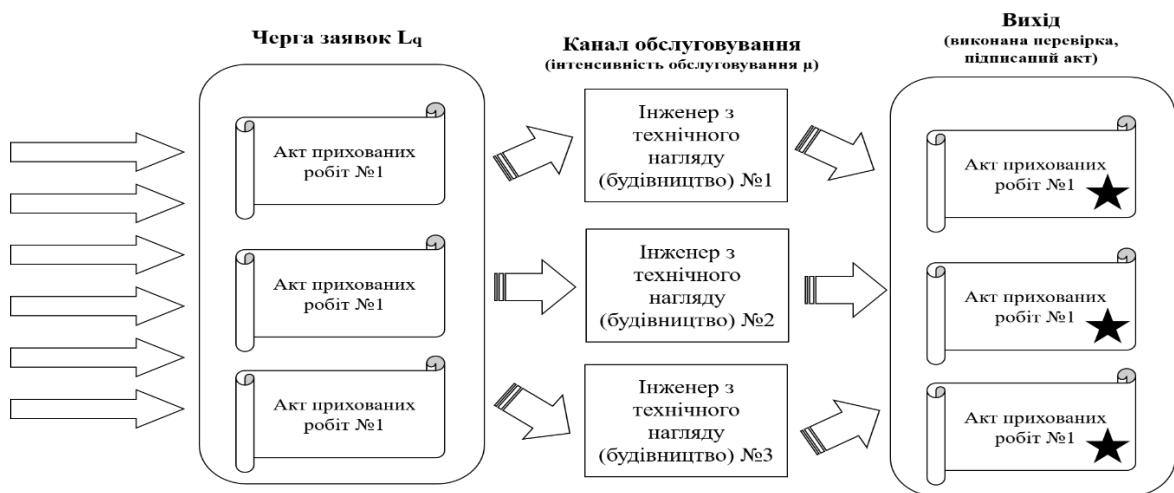


Рисунок 2.2 – Багатоканальна модель здійснення технагляду M/M/n

Джерело: складено автором на основі [94, 95]

Перехід від одноканальної системи M/M/1 до багатоканальної моделі M/M/n дозволяє не лише формально оцінити ефективність функціонування системи, а й науково обґрунтувати необхідну кількість інженерів, виходячи з кількісних показників завантаження та часу очікування. Такий підхід забезпечує мінімізацію втрат від простоїв та оптимізацію витрат на управління масштабним будівельним проектом

2.4. Методологічне обґрунтування врахування ускладнюючих факторів при проведенні технічного нагляду

Важливим чинником, що визначає трудомісткість технічного нагляду, є ступінь технологічної сумісності процесів, що виконуються одночасно. Згідно з дослідженнями, проведеними у [96], поєднання будівельних робіт на одному фронті супроводжується впливом численних випадкових факторів, які підвищують ризики технологічних порушень. Математична модель, запропонована авторами, дозволяє кількісно оцінити допустимість такого суміщення. Для практики технічного нагляду це означає, що рівень складності (а отже, і частота необхідних інспекцій) прямо залежить від інтегрального показника сумісності процесів на майданчику.

Проте, наявність інструментарію для математичного розрахунку сумісності процесів є лише необхідною, але недостатньою умовою для оптимізації нагляду. Ефективність впровадження таких аналітичних моделей безпосередньо залежить від діючої нормативної бази, яка наразі обмежує інженера у виборі гнучких інструментів планування. Саме тому, паралельно з технологічною оцінкою сумісності робіт, виникає потреба в критичному переосмисленні регуляторних засад, що визначають організацію інжинірингових послуг.

В основу розробки методики дослідження покладено результати аналізу сучасного стану нормативно-правового регулювання інжинірингових послуг в Україні, представлені у праці [97], що опирається на практику договорів FIDIC. Авторами встановлено критичну невідповідність між фактичною складністю будівельних процесів та наявним методичним апаратом їх супроводу.

Згідно з результатами аналітичних досліджень, в Україні склалася ситуація, за якої обов'язковість технічного нагляду закріплена законодавчо, проте відсутні будь-які нормативно визначені механізми врахування «ускладнюючих факторів». Це призводить до того, що:

- планування ресурсів інженерного персоналу здійснюється без урахування реальної технологічної складності об'єкта.

- ігноруються ризики, пов'язані з географічними умовами, регуляторним середовищем та соціально-екологічними факторами.

- вартість та інтенсивність послуг не адаптуються до змін у проектній документації або специфічних вимог замовника в ході реалізації контракту.

У дослідженні запропоновано дворівневу систему класифікації факторів, що мають визначальний вплив на складність інжинірингових процесів:

- загальнопроектні фактори: охоплюють 12 ключових параметрів, вихід кожного з яких за межі «усталеної практики» автоматично переводить проект у категорію підвищеного ризику.

- специфічні (функціональні) фактори: зумовлені призначенням об'єкта (аеропорти, залізниці, медичні установи тощо). Автори доводять, що технологічна насиченість об'єкта та кількість інтерфейсів (вузлів сполучення та взаємодії) є прямо пропорційними складності здійснення технічного нагляду.

Незважаючи на те, що повний перелік загальнопроектних факторів, систематизований у даній науковій праці охоплює 12 ключових параметрів, для подальшого розроблення методики було здійснено їх диференціацію за ступенем впливу на конкретні функціональні обов'язки інженера з технічного нагляду [98].

Вихід кожного з 12 параметрів за межі «усталеної практики» автоматично переводить будівельний проект у категорію підвищеного ризику. Проте, враховуючи специфіку діяльності технагляду, яка зосереджена на верифікації відповідності робіт проектним рішенням та нормативним вимогам, із загального масиву було виокремлено 7 найбільш релевантних факторів (Таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Вибірка факторів, що впливають на складність технічного нагляду

Фактори впливу (наслідки впливу)	
Незначний вплив	Значний вплив
Внесення змін до проекту <i>(суттєві перепроєктування потребують від технагляду додаткової перевірки нових креслень та верифікації змінених обсягів робіт)</i>	
Незначні зміни з мінімальними перепроєктуваннями	Суттєві зміни, що потребують значного включення інжинірингового персоналу до процесу перепроєктування
Інтенсивність праці <i>(великі проекти з цілодобовим графіком або високою швидкістю зведення потребують збільшення частоти інспекційних візитів)</i>	
Звичайне будівництво	Великий проект що потребує додаткового нагляду або більша тривалість через складність робіт
Рівень експертизи та досвід <i>(складність послуг технагляду зростає пропорційно вимогам до глибини знань інспекційного складу, особливо на об'єктах підвищеної складності)</i>	
Потрібна помірна експертиза	Значна спеціалізована експертиза та обширно необхідний досвід
Рівень ризику, відповідальності <i>(об'єкти з високим рівнем наслідків (СС2, СС3) прямо корелюють зі ступенем юридичної та технічної відповідальності особи, що здійснює нагляд)</i>	
Низький рівень відповідальності та /або ризиків	Високий рівень відповідальності та/або ризиків
Рівень новітніх технологій <i>(застосування неперевіраних або складних систем вимагає від фахівця спеціалізованої експертизи для підтвердження якості їх впровадження)</i>	
Новітні технології не застосовуються	Багато новітніх технологій, якими потрібно оволодіти для включення в проект
Складність проекту <i>(перехід від стандартних рішень до незвичних технологічних систем суттєво змінює регламент контрольних процедур)</i>	

Прості проекти, де проект заснований на усталеній практиці та галузевих стандартах	Складні проекти, де роботи вимагають створення та застосування нових, незвичних або неперевіраних технологій чи систем
Тривалість проекту <i>(надмірне подовження термінів будівництва щодо вартості робіт створює додаткове організаційне навантаження на процес супроводу об'єкта)</i>	
Тривалість, пропорційна трудомісткості	Тривалість надмірна щодо вартості робіт через подовжений договірний період

Джерело: складено автором на основі [97]

Такий селективний підхід дозволяє сфокусувати математичне моделювання на тих чинниках, які мають найбільшу вагу при визначенні трудомісткості та вартості послуг з технічного нагляду, забезпечуючи високу точність результатів дослідження.

2.5. Підходи до адаптації моделі технічного нагляду до умов повітряних загроз як детермінованого чинника складності будівництва

Сучасні реалії ведення будівельної діяльності в Україні зумовлюють необхідність інтеграції безпекових ризиків до загальної структури організаційно-технологічних рішень. У межах розробленої математичної моделі повітряні загрози слід розглядати як специфічний детермінований чинник, що має критичний вплив на інтегральний показник складності інжинірингових послуг K_{ct} [99]. Зокрема, регулярні повітряні тривоги виступають каталізатором для зміни інтенсивності праці та тривалості проекту, що вимагає динамічного перерахунку вагових коефіцієнтів у системі технічного нагляду.

Повітряні тривоги, евакуаційні заходи, обмеження у доступі до об'єкта та загроза життю персоналу безпосередньо призводять до переривання виробничих процесів, збільшення загальних витрат часу на контрольні заходи та ускладнення реалізації графіків технічного нагляду. Проте на сьогодні відсутня формалізована методика, яка б дозволяла кількісно враховувати вплив таких загроз при

оцінюванні трудомісткості робіт та плануванні ресурсів для здійснення технічного нагляду.

У зв'язку з цим виникає необхідність науково обґрунтованого аналізу впливу повітряних загроз на діяльність інженера з технічного нагляду та розробки методики, яка дозволить враховувати цей фактор при плануванні, нормуванні та організації робіт у нестабільному безпековому середовищі.

Наявні нормативні вимоги [100] встановлюють необхідність розроблення та затвердження плану реагування на надзвичайні ситуації [101] для суб'єктів господарювання з чисельністю персоналу більше 50 осіб, а з чисельністю персоналу 50 осіб і менше – інструкції щодо дій персоналу суб'єкта господарювання у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій. Дані плани та інструкції зазвичай передбачають необхідність зупинення будівельних робіт та перехід персоналу до укриття, але жодні нормативні документи не передбачають урахування безпекових факторів як змінної у розрахунках обсягів робіт технічного нагляду. Це створює ризики неефективного використання трудових ресурсів, затримок у реалізації проектів та загального зниження технічної надійності реалізованих рішень.

В роботі [87] розглядається питання необхідності врахування ускладнюючих факторів, що можуть мати вплив на інжинірингові послуги. Однак ці дослідження розглядають умови мирного часу, без урахування надзвичайних ситуацій або ризиків військового характеру.

Попередніми дослідженнями [88] встановлено необхідність розробки методики для врахування трудомісткості проведення технічного нагляду.

Але, умовах воєнного стану особливої актуальності набуває застосування інноваційних методів організації будівництва, спрямованих на підвищення стійкості до зовнішніх загроз. Як зазначено у роботі [102], для забезпечення безперервності будівельних процесів необхідно інтегрувати цифрові інструменти моніторингу, такі як BIM та системи контролю якості, що дозволяють мінімізувати вплив кризових факторів. Використання запропонованих авторами інструментів дозволяє раціонально розподіляти ресурси та забезпечувати безпеку на

будівельному майданчику навіть у складних умовах, що є пріоритетним при відновленні інфраструктури.

На сьогодні жоден з нормативних документів та наявних наукових досліджень не враховує змін у структурі робочого часу, викликаних зовнішніми небезпеками, зокрема такими, як повітряні тривоги чи військові дії.

Висновки до розділу 2

1. Запропоновано методичний підхід до обґрунтування частоти технічного нагляду. На основі методів багатовимірної регресійної аналізу та логістичної регресії розроблено механізм, який дозволяє математично визначати необхідну частоту інспекцій залежно від технологічного ризику конкретного виду робіт.

2. Запропоновано метод оптимізації чисельності інженерів із застосуванням теорії масового обслуговування (СМО). Обґрунтовано, що перехід від одноканальної (М/М/1) до багатоканальної моделі (М/М/п) дає змогу розрахувати необхідний штат фахівців для мінімізації часу очікування перевірок та усунення технологічних простоїв підрядника.

3. Розроблено методологічне обґрунтування для врахування ускладнюючих та безпекових факторів. Запропоновано диференційовану класифікацію з 7 ключових параметрів складності проекту, а також введено підхід до кількісного врахування впливу повітряних загроз як детермінованого чинника при плануванні трудовитрат інженерів

Основні результати дослідження, викладені в розділі 2 представлено в публікаціях автора [80, 88, 98, 99]

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ

3.1. Організаційно-технологічна модель діяльності служби технічного нагляду в цифровому середовищі

Сучасне будівництво, особливо в контексті відновлення зруйнованої промислової інфраструктури, вимагає контролю за декількома різними технологічними процесами одночасно. Традиційна модель, де один інженер здійснює нагляд за всіма розділами проекту, створює ситуацію, за якої увага фахівця розпорошується між загальнобудівельними роботами та високотехнологічним обладнанням.

Окрім того, сучасна парадигма організації будівельного виробництва неможлива без врахування принципів сталого розвитку. У дослідженні [103] обґрунтовано, що організаційно-технологічні рішення повинні інтегрувати параметри енергоефективності на рівні проектування та безпосередньої реалізації. Автори наголошують на важливості математичного моделювання, яке дозволяє врахувати комплекс взаємопов'язаних параметрів: енергоспоживання, технологічну послідовність та екологічні обмеження. Для технічного нагляду це означає необхідність розширення інструментарію контролю, де перевірка відповідності енергоефективним показникам стає такою ж важливою, як і перевірка міцності конструкцій. Таким чином, підвищення вимог до професійної підготовки інженера технічного нагляду є неминучим наслідком технологічного прогресу в галузі.

А специфічні види робіт, такі як монтаж складного технологічного устаткування, потребують від інженера технічного нагляду не лише знань будівельних норм, а й компетенцій у галузі інжинірингу систем. У дослідженні [104] проаналізовано організаційні аспекти нагляду за монтажем обладнання, де ключову роль відіграє неперервність контролю на етапах пусконаладжувальних робіт. Це додатково підтверджує нашу тезу про необхідність вузької спеціалізації

наглядного персоналу, оскільки універсальний фахівець не здатен забезпечити належний контроль складних технологічних вузлів без відповідної підготовки

Вирішення цієї проблеми лежить у площині впровадження моделі функціональної спеціалізації [80], яка передбачає розчленування загального процесу нагляду на три автономні, але взаємопов'язані вектори: конструктивний, інженерний та енерго-автоматичний (Таблиця 3.1). Кожен вектор очолюється профільним фахівцем, чия компетенція підтверджена відповідним досвідом та спеціалізацією, що нівелює ризики, характерні для універсальної моделі нагляду».

Таблиця 3.1 – Деталізація функціональних обов'язків фахівців технічного нагляду за векторами спеціалізації

№ п/п	Функціональний вектор технічного нагляду	Функції, що покладаються на інженера з технічного нагляду відповідно до його спеціалізації
1	Конструктивний (конструктивної безпеки та надійності)	Контроль за основними несучими та огорожувальними конструкціями, фундаментами, гідроізоляцією та вхідний контроль якості будівельної продукції
2	Інженерний (інженерних мереж та санітарно-технічних систем)	Нагляд за герметичністю трубопроводів, монтажем котельного та насосного обладнання, випробуванням систем під тиском та дотриманням санітарно-гігієнічних вимог
3	Енерго-автоматичний (енергетичної ефективності та систем автоматизації)	Контроль електропостачання, систем протипожежного захисту, засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), систем «розумний дім» та пусконаладження складних алгоритмів управління

Джерело: складено автором

Вектор конструктивної безпеки та надійності складає фундамент запропонованої моделі. У межах цього напрямку основна увага фокусується на забезпеченні геометричної незмінності та тривалої міцності несучих систем. Експертний контроль у межах конструктивного вектора дозволяє фіксувати зміни в напружено-деформованому стані каркаса після циклічних або динамічних навантажень, забезпечуючи перевірку відповідності фактичних параметрів жорсткості вузлів сполучення проектним значенням. Такий підхід гарантує безпечну експлуатацію відновленого об'єкта протягом усього розрахункового терміну служби.

Другим невід'ємним елементом є вектор інженерних мереж та санітарно-технічних систем. У сучасних промислових та цивільних об'єктах вартість та складність внутрішніх мереж часто дорівнює вартості конструктивної частини. Спеціалізація в цьому напрямі дозволяє забезпечити реальний контроль за герметичністю систем, коректністю монтажу складного насосного та теплотехнічного обладнання. Інженер цього профілю концентрується на специфічних випробуваннях під тиском, дотриманні ухилів трубопроводів та забезпеченні належної пропускної здатності мереж. Універсальний інженер технічного нагляду зазвичай звертає увагу на факт монтажу, тоді як профільний фахівець оцінює технологічну логіку системи, запобігаючи виникненню прихованих дефектів, які проявляються лише під час пікових експлуатаційних навантажень.

Особливого значення в умовах відбудови набуває вектор енергетичної ефективності та систем автоматизації. Цей напрям відповідає за складову об'єкта, яка безпосередньо впливає на його безпеку та економічну доцільність. Функціонал фахівця тут охоплює нагляд за влаштуванням електротехнічних мереж, систем пожежного захисту та засобів автоматизованого управління будівлею. Ключовим аспектом діяльності є участь у комплексних пусконаладжувальних роботах та перевірка алгоритмів взаємодії різних систем. Без спеціалізованого нагляду в цій зоні виникає ризик формального підписання актів на системи, працездатність яких не була фактично перевірена через брак специфічних знань універсального

інженера з технічного нагляду. Спеціалізація дозволяє гарантувати, що автоматика об'єкта спрацює коректно в екстремальних ситуаціях, а системи обліку ресурсів забезпечать задекларований рівень енергоефективності.

Окрім того, важливим організаційним доповненням до системи векторів є запровадження ролі допоміжного персоналу. Наукове обґрунтування цієї потреби базується на аналізі витрат робочого часу висококваліфікованих інженерів. Встановлено, що значна частина ресурсів витрачається на технічні операції: фотофіксацію, ведення журналів, збір сертифікатів. Передача цих функцій допоміжному персоналу дозволяє спеціалізованим інженерам зосередитися виключно на експертній діяльності та перевірці критичних вузлів. Допоміжний персонал при цьому виконує функцію неперервного моніторингу на майданчику, що нівелює проблему «фрагментарної присутності» нагляду, характерну для поточної практики будівництва.

Запропонована модель (Рисунок 3.1) передбачає впровадження матричної структури управління командою технічного нагляду. Зазначена модель забезпечує перехід від універсального підходу до системи профільного технічного нагляду з персоналізованою відповідальністю кожного фахівця.

Загальне управління процесом технічного нагляду здійснює головний інженер технічного нагляду, який виконує функції керівника проекту технагляду. Головний інженер забезпечує координацію діяльності профільних інженерів, організовує взаємодію між учасниками будівельного процесу, аналізує результати перевірок та приймає узагальнені рішення за результатами технічного нагляду. Головний інженер технагляду несе відповідальність за повноту охоплення перевірок усіх напрямів будівельних робіт, а також за своєчасність і коректність фіксації результатів у цифровій системі.

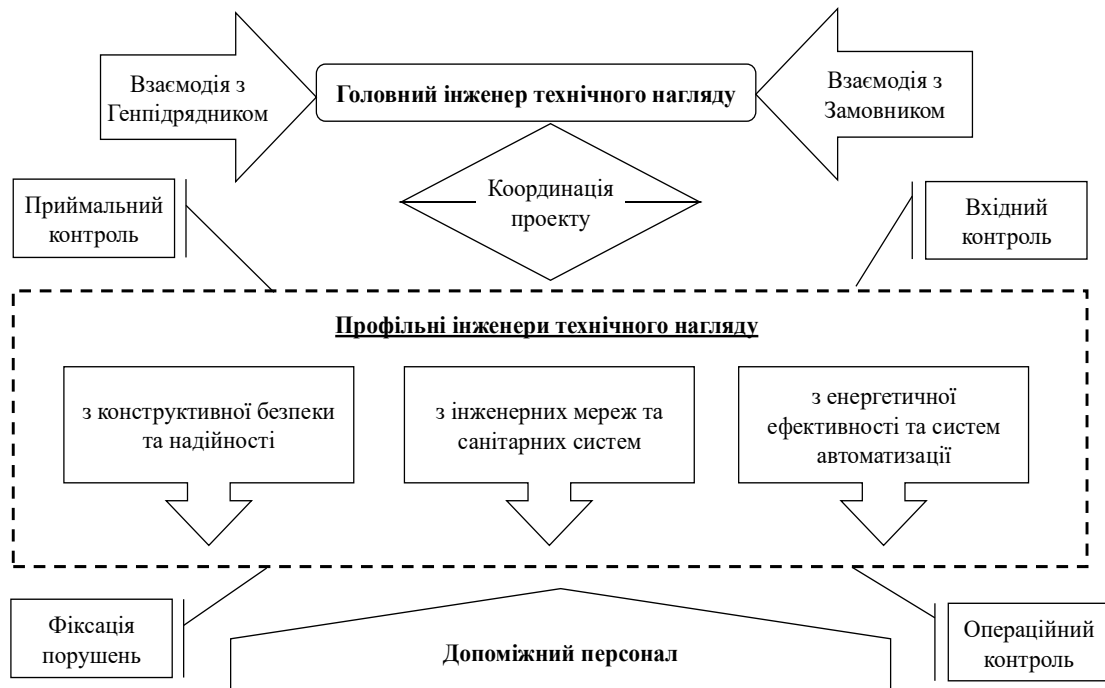


Рисунок 3.1 – Організаційно-функціональна модель координації спеціалізованого технічного нагляду

Джерело: складено автором

Процес нагляду за новою моделлю виглядає як послідовний ланцюг перевірок. Допоміжний персонал виконує первинну фіксацію робіт. Якщо робота належить до категорії високого ризику (наприклад, монтаж електрощитової), дані передаються спеціалізованому інженеру-енергетику. Після його підтвердження, Головний інженер технічного нагляду акцептує етап.

Такий підхід створює «систему потрібного фільтра», де помилка на одному рівні обов'язково виявляється на наступному. Особливо ефективною ця модель є при відбудові складних промислових об'єктів, де відновлення технологічних ліній вимагає специфічних знань, якими не володіє інженер загальнобудівельного профілю.

Таким чином, запропонована організаційно-технологічна модель формує багаторівневу структуру контролю. Вона базується на чіткому розподілі відповідальності за технологічними напрямками, що дозволяє уникнути

професійного перевантаження персоналу та підвищити точність виявлення дефектів. Матричний підхід до формування команд технагляду дає змогу гнучко адаптувати склад групи під поточні потреби будівництва, залучаючи потрібну експертизу саме в моменти активізації відповідних робіт. Така трансформація є критично необхідною для гарантування якості відбудови інфраструктури України, перетворюючи технічний нагляд на науково обґрунтовану систему управління надійністю та безпекою.

Особливе місце в реалізації моделі функціональної спеціалізації посідає механізм взаємодії команди технічного нагляду з Єдиною державною електронною системою у сфері будівництва (ЄДЕССБ). В умовах повної цифровізації дозвільних та контрольних процедур, технічний нагляд перестає бути лише інструментом фізичного контролю на майданчику, трансформуючись у ключову ланку формування «цифрового двійника» об'єкта. Проте існуючий функціонал електронних кабінетів технагляду, орієнтований на одного користувача (підписанта), створює бар'єри для ефективної командної роботи фахівців різного профілю.

Впровадження спеціалізованих векторів контролю вимагає модернізації логіки роботи в ЄДЕССБ шляхом створення багаторівневих протоколів доступу. Запропонована модель (Рисунок 3.2) передбачає, що кожен профільний фахівець несе персональну відповідальність за верифікацію даних у межах своєї компетенції в системі. Це дозволяє уникнути ситуації, коли головний інженер технагляду підписує електронним підписом акти за спеціалізовані розділи (наприклад, пусконаладження систем автоматизації), не маючи можливості реально перевірити достовірність завантажених даних.



Рисунок 3.2 – Функціональна модель інформаційної взаємодії фахівців технічного нагляду за напрямками спеціалізації в інформаційному середовищі ЄДЕССБ

Джерело: складено автором

Така інтеграція спеціалізованого технічного нагляду в державну інформаційну систему забезпечує прозорість процесу відбудови для всіх стейкхолдерів. У разі виникнення дефектів під час експлуатації, архітектура даних у ЄДЕССБ дозволить чітко ідентифікувати, який саме профільний фахівець проводив перевірку конкретного вузла. Це не лише підвищує персональну відповідальність інженерів, а й створює нові стандарти якості для об'єктів критичної інфраструктури, де поєднання вузькоспеціалізованих знань із цифровими інструментами стає єдиною гарантією надійності результату.

За результатами дослідження встановлено, що існуюча модель універсального технічного нагляду не відповідає сучасним вимогам безпеки при відбудові складних об'єктів. Обґрунтовано, що впровадження матричної моделі спеціалізації дозволяє підвищити якість контролю за рахунок концентрації вузькопрофільної експертизи на критичних технологічних етапах.

Доведено доцільність розподілу персоналу за трьома основними напрямками у поєднанні з ієрархічною структурою, де інженери нижчої спеціалізації

виконують рутинні функції, а вищої спеціалізації – узагальнення та експертні заключення. Такий підхід мінімізує вплив «людського фактора» та забезпечує багаторівневу верифікацію технологічних процесів. Практичне значення запропонованої спеціалізації полягає у створенні надійної організаційної бази для відновлення складних промислових та інфраструктурних об'єктів, де ціна технічної помилки є критичною.

3.2. Розрахунковий механізм визначення частоти виходів інженерів технічного нагляду

Практика свідчить, що вплив контролю на результати будівельного процесу є неоднаковим: для окремих видів робіт відсутність постійного нагляду практично не позначається на якості виконання, тоді як для робіт підвищеної відповідальності може призводити до суттєвого зростання кількості дефектів, порушень технології та додаткових витрат на їх усунення.

З метою наукового обґрунтування доцільності диференційованого підходу до організації технічного нагляду в даному дослідженні проведено економетричне моделювання взаємозв'язку між присутністю інженера технічного нагляду, категорією будівельних робіт та кількістю виявлених дефектів і приписів. Для аналізу використано метод множинної регресії з урахуванням ефектів взаємодії між фактором технічного нагляду та окремими категоріями робіт, що дозволяє оцінити диференційований вплив контролю залежно від рівня технологічного ризику.

Результати моделювання створюють підґрунтя для формування ризик-орієнтованого підходу до визначення інтенсивності технічного нагляду, відповідно до якого обсяг контрольних заходів повинен визначатися не часовими інтервалами або адміністративними вимогами, а фактичною критичністю та відповідальністю виконуваних будівельних робіт. Для практичної реалізації зазначеного підходу було сформовано відповідний робочий файл у пакеті прикладних програм EViews 12, загальну структуру та склад інформаційних змінних якого відображено на Рисунку 3.3.

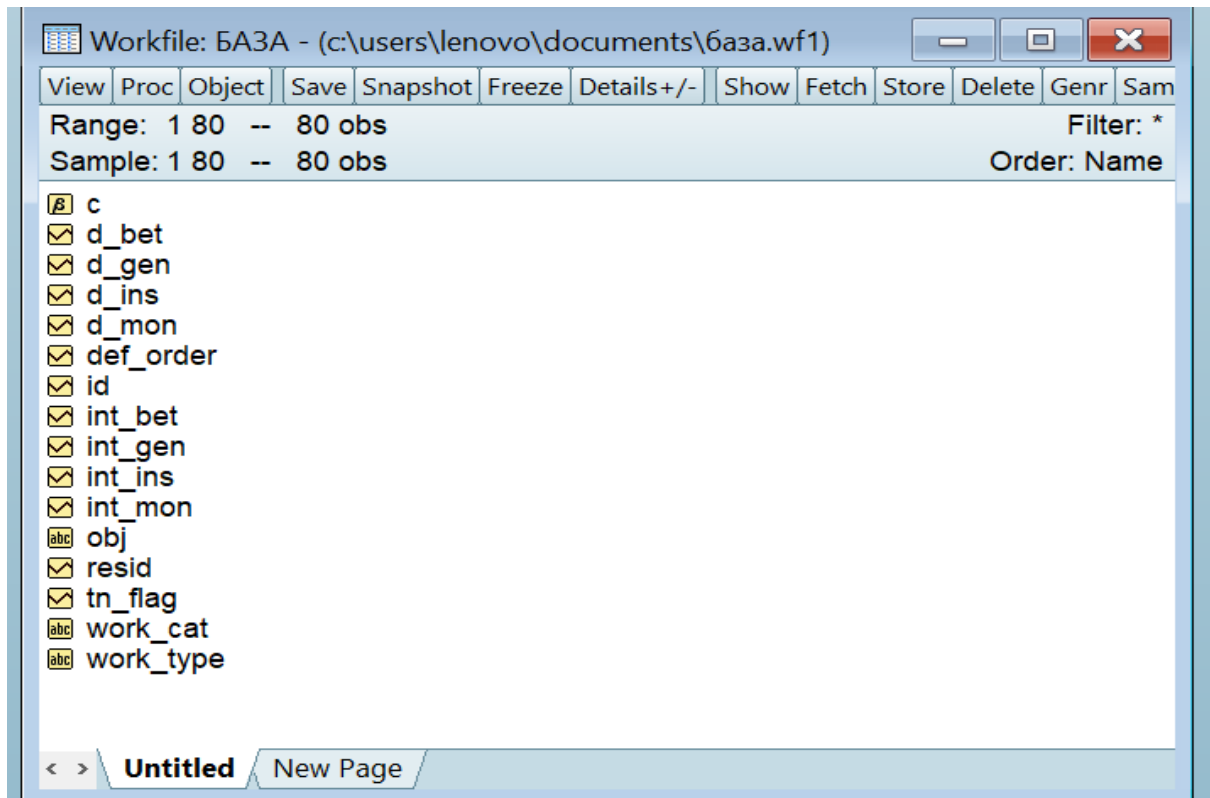


Рисунок 3.3 – Загальна структура та склад змінних робочого файлу програми EViews

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

Емпіричну основу дослідження становлять статистичні дані, зібрані репрезентативним шляхом за 80 спостереженнями (Додаток А). Сформований масив включає залежну змінну (*def_order*), ключовий регресор (*tn_flag*), а також текстові та розрахункові фіктивні змінні (*work_cat*, *work_type*, *d_**, *int_**), що характеризують специфіку будівельних робіт та ефекти взаємодії факторів.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.333333	0.448068	2.975740	0.0040
TN_FLAG	-1.333333	0.896136	-1.487870	0.1413
D_MON	4.966667	0.510876	9.721864	0.0000
D_GEN	1.121212	0.505489	2.218076	0.0298
D_INS	0.866667	0.566766	1.529144	0.1307
D_BET	0.333333	0.633664	0.526041	0.6005
INT_MON	-4.522222	0.941061	-4.805451	0.0000
INT_GEN	-0.787879	0.952893	-0.826828	0.4111
INT_INS	-0.466667	1.021752	-0.456732	0.6493
INT_BET	3.04E-14	1.097538	2.77E-14	1.0000

R-squared	0.877078	Mean dependent var	1.612500
Adjusted R-squared	0.861274	S.D. dependent var	2.083654
S.E. of regression	0.776076	Akaike info criterion	2.447337
Sum squared resid	42.16061	Schwarz criterion	2.745090
Log likelihood	-87.89347	Hannan-Quinn criter.	2.566715
F-statistic	55.49647	Durbin-Watson stat	2.208616
Prob(F-statistic)	0.000000		

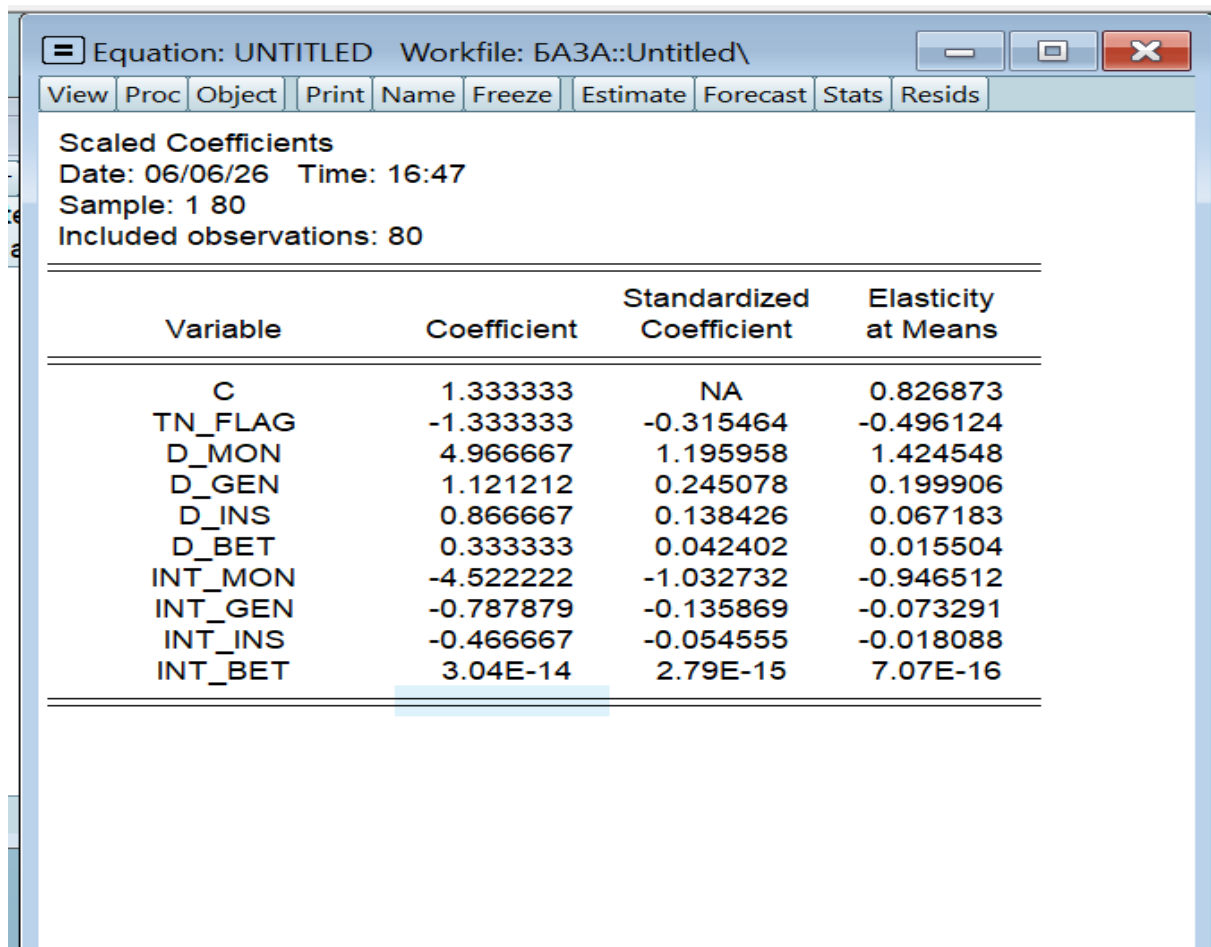
Рисунок 3.4 – Результати оцінювання параметрів лінійної регресійної моделі залежності кількості дефектів (DEF_ORDER) в програмі EViews 12

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

За результатами економетричного моделювання (Рисунок 3.4) встановлено, що вплив технічного нагляду на якість виконання будівельних робіт є неоднаковим для різних категорій робіт. Побудована модель є статистично значущою ($F=55,50$; $p<0,001$) та пояснює 87,7% варіації кількості виявлених дефектів і приписів.

Отримані результати свідчать про відсутність статистично значущого впливу присутності технічного нагляду на земляні, загальнобудівельні, бетонні та оздоблювальні роботи. Водночас для монолітних робіт виявлено суттєвий негативний коефіцієнт взаємодії між фактором присутності технічного нагляду та категорією робіт ($\beta=-4,522$; $p<0,001$), що свідчить про істотне зменшення кількості

дефектів за умови безпосередньої присутності інженера технічного нагляду під час виконання робіт.



Equation: UNTITLED Workfile: БАЗА::Untitled\
 View Proc Object Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids

Scaled Coefficients
 Date: 06/06/26 Time: 16:47
 Sample: 1 80
 Included observations: 80

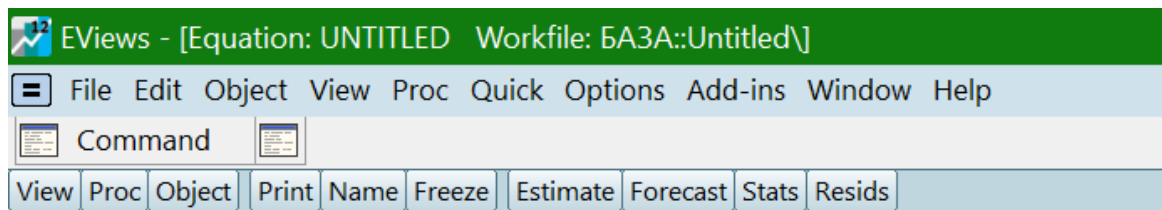
Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	Elasticity at Means
C	1.333333	NA	0.826873
TN_FLAG	-1.333333	-0.315464	-0.496124
D_MON	4.966667	1.195958	1.424548
D_GEN	1.121212	0.245078	0.199906
D_INS	0.866667	0.138426	0.067183
D_BET	0.333333	0.042402	0.015504
INT_MON	-4.522222	-1.032732	-0.946512
INT_GEN	-0.787879	-0.135869	-0.073291
INT_INS	-0.466667	-0.054555	-0.018088
INT_BET	3.04E-14	2.79E-15	7.07E-16

Рисунок 3.5 – Результати оцінювання масштабованих коефіцієнтів (Scaled Coefficients) для моделі залежності кількості дефектів

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

Аналіз стандартизованих коефіцієнтів регресійної моделі (Рисунок 3.5) показав, що найбільший вплив на формування кількості дефектів має категорія монолітних робіт ($\beta=1,196$), що підтверджує їх належність до робіт підвищеного технологічного ризику. Водночас найбільш вагомим фактором зниження кількості дефектів виступає взаємодія між присутністю технічного нагляду та виконанням монолітних робіт ($\beta=-1,033$). Отриманий результат свідчить про високу ефективність постійного контролю саме на етапах виконання монолітних конструкцій.

Для інших категорій робіт значення стандартизованих коефіцієнтів є істотно нижчими, що свідчить про меншу залежність якості виконання робіт від безпосередньої присутності інженера технічного нагляду. Таким чином, результати моделювання підтверджують доцільність застосування ризик-орієнтованого підходу до організації технічного нагляду, за якого інтенсивність контрольних заходів визначається рівнем технологічного ризику конкретної категорії будівельних робіт.



90% CI		95% CI		99% CI	
Low	High	Low	High	Low	High
0.586443	2.080224	0.439690	2.226976	0.146892	2.519774
-2.827115	0.160448	-3.120620	0.453953	-3.706215	1.039548
4.115080	5.818253	3.947757	5.985577	3.613916	6.319417
0.278606	1.963819	0.113047	2.129378	-0.217274	2.459698
-0.078084	1.811417	-0.263712	1.997046	-0.634076	2.367409
-0.722930	1.389596	-0.930469	1.597136	-1.344547	2.011214
-6.090890	-2.953554	-6.399109	-2.645335	-7.014062	-2.030382
-2.376269	0.800512	-2.688363	1.112606	-3.311048	1.735290
-2.169840	1.236506	-2.504487	1.571153	-3.172168	2.238835
-1.829501	1.829501	-2.188970	2.188970	-2.906175	2.906175

Рисунок 3.6 – Протокол розрахунку довірчих інтервалів (Confidence Intervals) коефіцієнтів регресії факторів ризику

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

Аналіз довірчих інтервалів параметрів регресійної моделі (Рисунок 3.6) підтвердив статистичну значущість лише окремих факторів. Найбільш стійкий вплив на кількість дефектів мають монолітні роботи (95% CI: 3,948–5,986) та

взаємодія між категорією монолітних робіт і присутністю технічного нагляду (95% СІ: від -6,399 до -2,645). Оскільки відповідні довірчі інтервали не містять нульового значення, їхній вплив є статистично підтвердженим.

Водночас для змінної, що характеризує лише факт присутності технічного нагляду незалежно від категорії робіт, довірчий інтервал містить нульове значення, що не дозволяє підтвердити її самостійний вплив на кількість дефектів. Це свідчить про те, що ефективність технічного нагляду визначається не самим фактом контролю, а його застосуванням до робіт підвищеного технологічного ризику.

Таким чином, результати аналізу довірчих інтервалів підтверджують доцільність переходу від універсального підходу до ризик-орієнтованої моделі організації технічного нагляду, за якої інтенсивність контрольних заходів визначається категорією та рівнем відповідальності будівельних робіт.

Для поглибленого аналізу стабільності та надійності отриманих оцінок параметрів побудованої регресійної моделі було здійснено їх візуалізацію за допомогою матриці сумісних довірчих еліпсів (Рисунок 3.7). Цей інструмент дозволяє вийти за межі класичних одновимірних довірчих інтервалів та дослідити взаємозв'язок (коваріацію) між оцінками коефіцієнтів для кожної пари змінних моделі одночасно.

Графічний аналіз довірчих областей параметрів регресійної моделі, представлений на Рисунку 3.7, підтверджує її статистичну надійність та коректність специфікації. Більшість довірчих еліпсів характеризуються правильною овальною формою без надмірного витягування вздовж діагоналей координатної площини, що свідчить про відсутність критичної мультиколінеарності між пояснювальними змінними. Отримані оцінки параметрів є достатньо стабільними, а похибки оцінювання окремих коефіцієнтів не спричиняють суттєвого викривлення оцінок інших параметрів моделі.

Форма та орієнтація еліпсів дозволяють оцінити характер взаємозв'язку між оцінками коефіцієнтів. Для окремих пар параметрів спостерігається позитивний нахил довірчих областей, що вказує на прямий зв'язок між відповідними похибками оцінювання. Водночас для деяких змінних взаємодії характерним є

негативний нахил еліпсів, який свідчить про наявність оберненої залежності між оцінками коефіцієнтів. Такий ефект є закономірним для моделей, що містять змінні взаємодії, та пояснюється особливостями спільного оцінювання впливу взаємопов'язаних факторів на основі однієї вибірки спостережень.

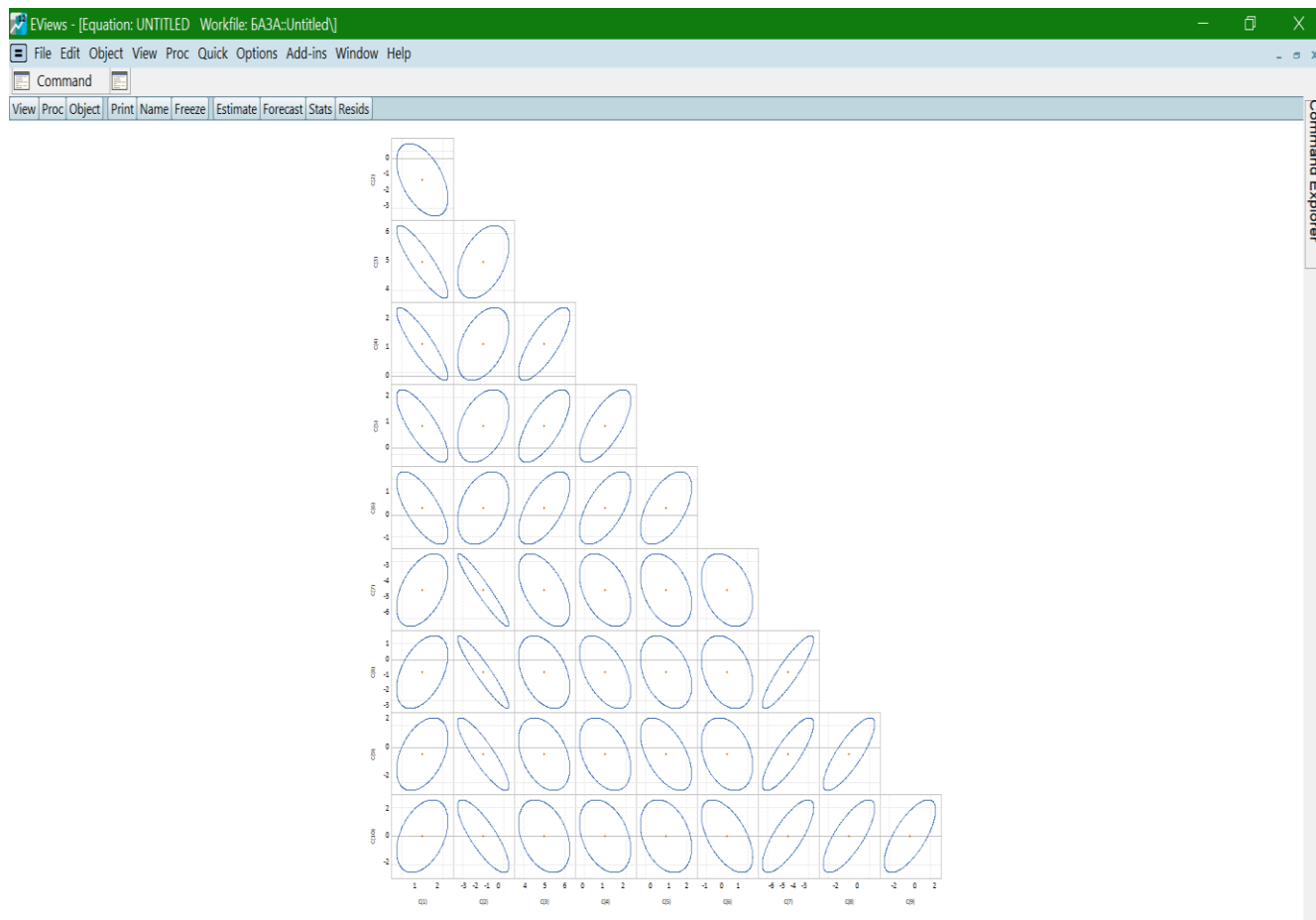
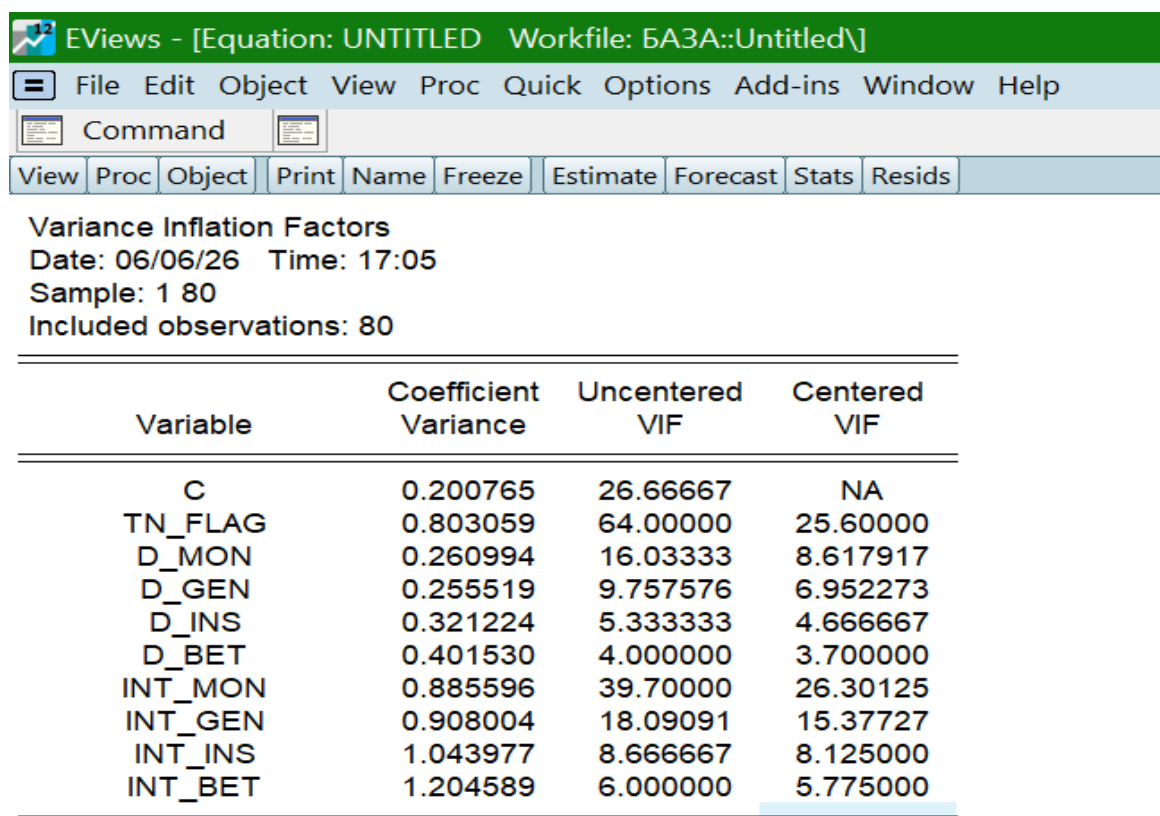


Рисунок 3.7 – Графічний аналіз взаємозалежності та надійності регресійних коефіцієнтів у вигляді матриці еліпсів довіри в EViews

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

Центри довірчих еліпсів збігаються з точковими оцінками параметрів, отриманими методом найменших квадратів, а межі відповідних областей відображають діапазони можливих значень коефіцієнтів з урахуванням заданого рівня довіри. Відносно компактні розміри більшості еліпсів свідчать про достатню точність оцінювання параметрів та підтверджують надійність отриманих результатів.

Загалом конфігурація довірчих областей підтверджує статистичну стійкість економетричної моделі, відсутність критичних проблем мультиколінеарності та достовірність встановлених закономірностей щодо диференційованого впливу технічного нагляду на якість виконання будівельних робіт залежно від їх категорії. Отримані результати додатково підтверджують обґрунтованість застосування ризик-орієнтованого підходу до визначення інтенсивності технічного нагляду в будівництві.



Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	0.200765	26.66667	NA
TN_FLAG	0.803059	64.00000	25.60000
D_MON	0.260994	16.03333	8.617917
D_GEN	0.255519	9.757576	6.952273
D_INS	0.321224	5.333333	4.666667
D_BET	0.401530	4.000000	3.700000
INT_MON	0.885596	39.70000	26.30125
INT_GEN	0.908004	18.09091	15.37727
INT_INS	1.043977	8.666667	8.125000
INT_BET	1.204589	6.000000	5.775000

Рисунок 3.8 – Результати тестування моделі на наявність мультиколінеарності за допомогою факторів інфляції дисперсії (VIF) в EViews 12

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

Результати аналізу факторів інфляції дисперсії (VIF), представлені на Рисунок 3.8 свідчать про наявність помірної та підвищеної мультиколінеарності між окремими пояснювальними змінними моделі. Найбільші значення центрованого VIF отримано для змінної присутності технічного нагляду

(VIF=25,6), а також для змінних взаємодії технічного нагляду з категоріями монолітних (VIF=26,3) та загальнобудівельних робіт (VIF=15,4).

Виявлена мультиколінеарність є очікуваною особливістю моделей, що містять інтерактивні змінні, оскільки останні формуються на основі базових факторів та мають з ними певний рівень кореляційного зв'язку. При цьому для більшості інших пояснювальних змінних значення центрованого VIF не перевищують критичних меж і знаходяться на рівні, прийнятному для економетричного аналізу.

З огляду на високу статистичну значущість моделі в цілому, значний коефіцієнт детермінації та стійкість ключових параметрів, отримані результати дозволяють зробити висновок про відсутність критичного впливу мультиколінеарності на якість оцінювання та можливість подальшого використання моделі для обґрунтування ризик-орієнтованого підходу до організації технічного нагляду в будівництві.

Для додаткової перевірки наявності мультиколінеарності було проведено аналіз декомпозиції дисперсії коефіцієнтів регресії (Рисунок 3.9). Результати дослідження свідчать про відсутність критичних ознак нестійкості моделі. Максимальне значення індексу обумовленості не перевищує граничних значень, які в економетричній практиці використовуються як критерій виявлення серйозної мультиколінеарності. Аналіз власних значень матриці регресорів також не виявив ознак її виродженості або суттєвої втрати інформації.

Декомпозиція дисперсії показала, що основна частка варіації оцінок параметрів концентрується в перших власних значеннях, тоді як для компонент із мінімальними власними значеннями не спостерігається одночасного накопичення значних часток дисперсії кількох ключових пояснювальних змінних. Це свідчить про відсутність критичної залежності між факторами та підтверджує стабільність отриманих оцінок коефіцієнтів.

EViews - [Equation: UNTITLED Workfile: БА3А::Untitled]

File Edit Object View Proc Quick Options Add-ins Window Help

Command

View Proc Object Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids

Sample: 1 to 80

Included observations: 80

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eigenvalues	4.535134	0.750261	0.453351	0.252390	0.136163	0.066458	0.038957	0.033978	0.014773	0.003790
Condition	0.000836	0.005052	0.008360	0.015017	0.027836	0.057032	0.097291	0.111549	0.256555	1.000000

Variance Decomposition Proportions

Variable	Associated Eigenvalue									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	0.348567	0.547461	0.022741	0.014836	9.70E-08	0.002682	0.014756	0.035169	0.005233	0.008555
TN_FLAG	0.935335	0.025448	0.005146	0.007786	9.96E-05	0.000915	0.018849	0.005246	2.90E-07	0.001175
D_MON	0.300454	0.467202	0.032613	0.057099	0.101489	0.004899	0.020239	2.33E-05	0.013826	0.002158
D_GEN	0.303885	0.470854	0.031906	0.055875	0.082034	0.008214	0.015360	0.011298	0.020157	0.000417
D_INS	0.274525	0.429565	0.098894	0.120970	0.000264	0.028391	0.018212	0.028711	0.000421	4.73E-05
D_BET	0.257513	0.462479	0.186019	0.004119	0.000289	0.087126	0.000277	0.002079	8.67E-05	1.27E-05
INT_MON	0.887466	0.018828	0.009888	0.029191	0.047687	0.000542	0.000103	0.002654	0.003206	0.000435
INT_GEN	0.873630	0.020602	0.010542	0.035573	0.050868	0.000372	0.000470	0.005794	0.002099	5.00E-05
INT_INS	0.817157	0.014426	0.054373	0.104469	1.04E-06	0.002963	0.004607	0.001961	3.71E-05	5.85E-06
INT_BET	0.775441	0.002936	0.204582	0.005190	1.05E-05	0.011451	0.000301	7.94E-05	7.88E-06	1.70E-06

Eigenvectors

Variable	Associated Eigenvalue									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	-0.124220	0.382749	0.100354	-0.108633	0.000378	0.090009	-0.275759	0.455853	0.266682	0.673152
TN_FLAG	0.406970	0.165043	-0.095474	0.157393	0.024242	0.105144	0.623334	-0.352124	0.003971	0.499052
D_MON	0.131495	-0.403145	-0.137022	0.242993	0.441056	-0.138702	-0.368225	-0.013392	-0.494220	0.385450
D_GEN	0.130849	-0.400450	-0.134100	0.237840	-0.392354	-0.177711	-0.317404	-0.291487	0.590449	0.167646
D_INS	0.139444	-0.428857	-0.264710	-0.392380	-0.024946	-0.370447	0.387511	0.520990	0.095639	0.063311
D_BET	0.150995	-0.497506	0.405901	-0.080952	-0.029200	0.725539	0.053388	0.156741	0.048551	0.036662
INT_MON	-0.416293	-0.149079	0.138980	-0.320040	-0.556914	-0.084973	0.048315	-0.263004	-0.438408	0.318832
INT_GEN	-0.418228	-0.157905	0.145306	-0.357743	0.582418	-0.071263	0.104631	-0.393486	0.359182	0.109444
INT_INS	-0.433714	-0.141683	0.353851	0.657360	0.002825	-0.215728	0.351369	0.245450	0.051203	0.040138
INT_BET	-0.453836	-0.068658	-0.737285	0.157383	-0.009653	0.455575	0.096538	0.053063	0.025355	0.023261

Рисунок 3.9 – Результати декомпозиції дисперсії коефіцієнтів регресії та аналізу власних чисел (Eigenvalues) моделі в EViews

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

Отримані результати узгоджуються з попереднім аналізом факторів інфляції дисперсії та дозволяють зробити висновок, що виявлена кореляція між окремими змінними має структурний характер і зумовлена використанням у моделі фіктивних змінних та ефектів взаємодії. Таким чином, мультиколінеарність не створює суттєвих перешкод для інтерпретації результатів моделювання та не впливає на достовірність висновків щодо впливу технічного нагляду на якість виконання будівельних робіт.

Для оцінки адекватності побудованої економетричної моделі та перевірки виконання передумов методу найменших квадратів (МНК) було проведено діагностику випадкових збурень на наявність серійної автокореляції. На рис. 3.8 представлено корелограму залишків моделі до 36-го лагу включно, яка містить графіки автокореляційної (АК) і часткової автокореляційної (РАС) функцій, а також розрахункові значення Q-статистики Льюнга–Бокса та відповідні їм рівні значущості (p-value).

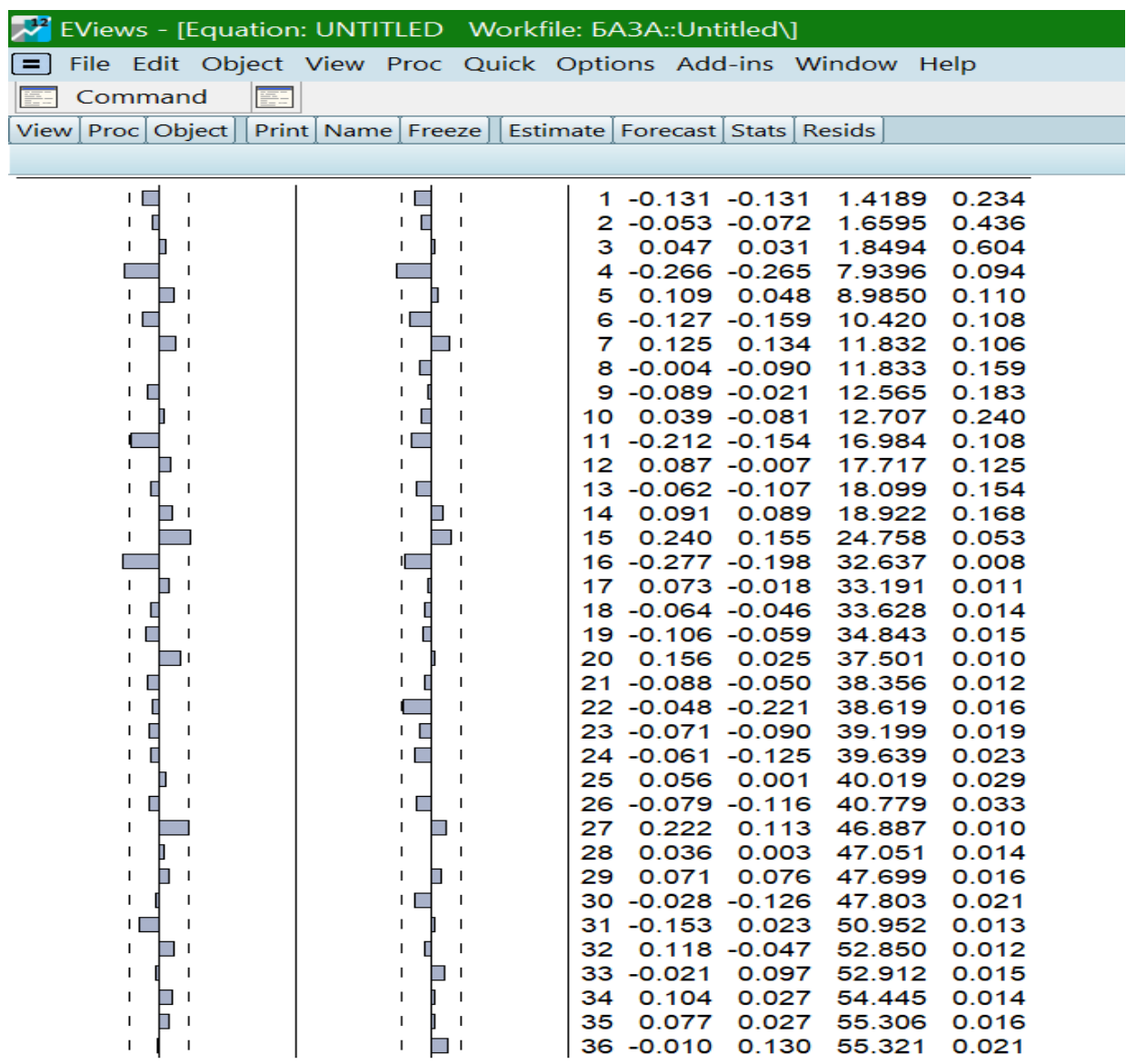


Рисунок 3.10 – Результати тестування залишків регресійної моделі на наявність автокореляції (корелограма залишків та Q-статистика) в EViews

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

Візуальний аналіз графічного виводу (Рисунок 3.10) свідчить, що для переважної більшості лагів значення автокореляції та часткової автокореляції перебувають у межах статистичної похибки (позначених пунктирними лініями довірчого інтервалу). Окремі незначні коливання на далеких лагах (наприклад, 16, 22, 27) не мають системного характеру і є допустимими для реальних емпіричних вибірок.

Для оцінки практичної спроможності моделі в задачах оперативного управління якістю та організації будівництва було проаналізовано динаміку випадкових збурень (залишків) на фінальному відрізку емпіричної вибірки для об'єктів будівництва під номерами 68–80 (Рисунок 3.11). Зазначений графік виступає аналогом класичних контрольних карт Шухарта, які застосовуються в системі менеджменту якості (ISO 9001) для моніторингу стабільності технологічних процесів.



Рисунок 3.11 – Моніторинг організаційно-технологічної надійності будівельних процесів за рівнем відхилень випадкових залишків моделі (спостереження №68–80)

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

Аналіз графіка залишків свідчить про достатньо високий рівень адекватності побудованої економетричної моделі та підтверджує її придатність для оцінювання впливу технічного нагляду на якість виконання будівельних робіт. Для більшості об'єктів будівництва значення залишків зосереджені в межах довірчого коридору ± 2 стандартних помилок і характеризуються незначними коливаннями навколо нульового рівня. Така поведінка залишків свідчить про відсутність систематичних помилок моделювання та підтверджує, що основні фактори, які визначають виникнення дефектів під час виконання будівельних робіт, були коректно враховані в моделі.

З точки зору організації будівельного виробництва отримані результати дозволяють стверджувати, що для переважної більшості досліджуваних об'єктів процес виконання робіт перебував у статистично контрольованому стані. Виявлені відхилення між фактичними та розрахунковими значеннями кількості дефектів мають випадковий характер і можуть бути пов'язані з природними коливаннями виробничих процесів, відмінностями в умовах виконання робіт, людським фактором або іншими локальними чинниками, які не мають системного впливу на результати будівництва.

Разом з тим на графіку спостерігається окреме аномальне спостереження для об'єкта №80, де величина залишку суттєво відрізняється від основної сукупності значень та наближається до нижньої межі довірчого коридору. Подібне відхилення свідчить про наявність специфічних умов реалізації будівельного процесу, які не повністю пояснюються включеними до моделі факторами. У практиці організації будівництва такі ситуації можуть бути наслідком порушення технологічної дисципліни, залучення виконавців з недостатнім рівнем кваліфікації, перебоїв у постачанні матеріально-технічних ресурсів, зміни організаційної структури управління будівництвом або недостатньої ефективності оперативного виробничого контролю.

Важливим є те, що навіть за наявності зазначеного відхилення абсолютна більшість залишків не виходить за межі встановлених контрольних інтервалів, що підтверджує загальну стійкість моделі та відсутність критичних порушень її

статистичних передумов. З практичної точки зору такий підхід дозволяє використовувати результати моделювання не лише для аналізу впливу технічного нагляду, але й як інструмент моніторингу організаційно-технологічного стану будівельних проектів. Своєчасне виявлення об'єктів, для яких значення залишків наближаються до контрольних меж, створює можливість оперативного реагування на потенційні ризики та підвищує ефективність управління якістю будівельного виробництва.

Для глибшої візуалізації та верифікації характеру зв'язків між організаційними чинниками і результатами контролю якості було побудовано матрицю діаграм часткової регресії (Рисунок 3.12). Кожен окремий графік відображає чисту лінійну залежність між залишками регресії залежної змінної (DEF_ORDER) та залишками конкретного регресора, отриманими після виключення впливу решти пояснювальних змінних моделі. Нахил апроксимуючої лінії на кожній діаграмі точно відповідає значенню часткового коефіцієнта регресії, розрахованого за МНК.

Візуальний аналіз нахилу прямих на діаграмах часткової регресії (Рисунок 3.12) наочно підтверджує ізольований характер впливу факторів. Зокрема, чітко виражений спадаючий нахил тренду для змінної взаємодії INT_MON доводить, що за умови усунення сторонніх ефектів, саме посилення технічного нагляду на монолітних роботах забезпечує максимальний превентивний ефект у мінімізації організаційно-технологічних дефектів. Натомість для категорій робіт із низьким рівнем технологічного ризику нахил ліній є близьким до горизонтального, що підтверджує їхню відносну інваріантність до присутності інженера технічного нагляду.

Проведене економіко-математичне дослідження дозволило обґрунтувати доцільність удосконалення організації технічного нагляду на будівельних майданчиках шляхом переходу від формального до ризик-орієнтованого підходу.

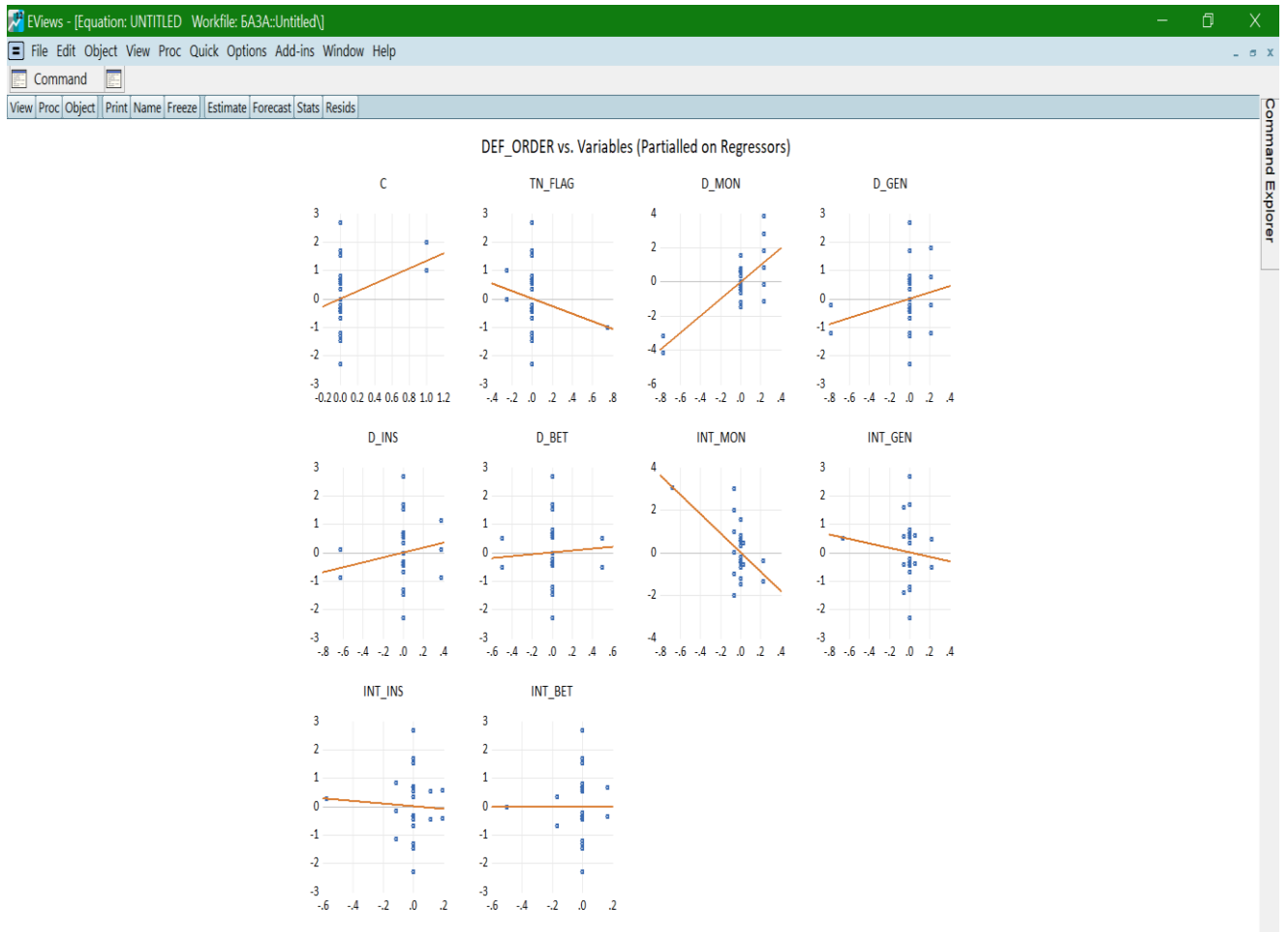


Рисунок 3.12 – Матриця діаграм часткової регресії (Added Variable Plots) для ізольованого аналізу впливу організаційно-технологічних факторів на кількість дефектів

Джерело: сформовано автором за допомогою програми EViews 12

Отримані результати підтвердили, що ефективність технічного нагляду визначається не стільки фактом його присутності на об'єкті, скільки правильністю розподілу контрольних ресурсів між окремими технологічними процесами залежно від їх складності, відповідальності та потенційних наслідків виникнення дефектів. Побудована економетрична модель продемонструвала високу пояснювальну здатність та дозволила встановити закономірності впливу технічного нагляду на якість виконання будівельних робіт у розрізі їх окремих категорій.

З позицій організації будівельного виробництва особливого значення набуває встановлений факт неоднакової чутливості різних технологічних процесів до інтенсивності контролю. Аналіз показав, що найбільш критичною ділянкою

виробничого процесу є виконання монолітних робіт, де ризик виникнення дефектів суттєво перевищує аналогічні показники для інших категорій робіт. Саме на цих етапах будівництва присутність інженера технічного нагляду забезпечує максимальний превентивний ефект та істотно знижує ймовірність появи дефектів і приписів. Це свідчить про необхідність концентрації організаційних, кадрових та часових ресурсів системи контролю на найбільш відповідальних технологічних операціях, які безпосередньо впливають на надійність, безпеку та довговічність об'єкта будівництва.

Разом із цим результати моделювання продемонстрували, що для окремих категорій робіт постійна присутність технічного нагляду не забезпечує суттєвого додаткового ефекту щодо підвищення якості будівництва. Такий висновок створює передумови для оптимізації організаційної структури контролю шляхом застосування вибіркового або періодичного нагляду на роботах із нижчим рівнем технологічного ризику (Таблиця 3.2). У практиці управління будівельними проектами це дозволяє більш раціонально використовувати трудові ресурси інженерів технічного нагляду, скорочувати непродуктивні витрати часу та підвищувати загальну ефективність системи управління якістю.

Важливим результатом дослідження стало підтвердження можливості використання економетричної моделі як інструменту поточного моніторингу організаційно-технологічного стану будівельного виробництва. Аналіз залишків дозволив ідентифікувати окремі аномальні відхилення, які можуть свідчити про порушення виробничої дисципліни, недостатній рівень кваліфікації виконавців, проблеми матеріально-технічного забезпечення або недоліки оперативного управління на будівельному майданчику. Таким чином, модель може застосовуватися не лише для оцінювання ефективності технічного нагляду, але й як інструмент раннього виявлення організаційних ризиків у процесі реалізації будівельних проектів.

Таблиця 3.2 – Матриця ризик-орієнтованого технічного нагляду

Категорія робіт	Стандартні умови будівництва (нормальний темп, надійний підрядник)	Ускладнені умови будівництва (форсований темп, низька надійність підрядника, складний проект)
Клас ризику I (Низький)	Приймальний контроль	Періодичний нагляд
<i>(оздоблення, благоустрій, земляні роботи)</i>	<i>(по факту завершення етапу. Присутність у процесі не обов'язкова)</i>	<i>(виїзд 1-2 рази на тиждень)</i>
Клас ризику II (Середній)	Вибірково-операційний нагляд	Щоденний операційний нагляд
<i>(цегляна кладка, стяжки, інженерні мережі, фасадні роботи)</i>	<i>(виїзд 1 раз на 2-3 дні для контролю проміжних етапів)</i>	<i>(виїзд мінімум 1 раз на зміну)</i>
Клас ризику III (Високий)	Постійний нагляд	Безперервний нагляд
<i>(монолітні каркаси, фундаменти, зварювання несучих конструкцій, приховані роботи)</i>	<i>(обов'язкова фізична присутність під час заливки/зварювання)</i>	<i>(присутність + 100% інструментальний контроль кожної захватки)</i>

Джерело: сформовано автором

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що підвищення ефективності організації будівництва потребує переходу до диференційованої системи технічного нагляду, за якої інтенсивність контрольних заходів визначається рівнем технологічного ризику конкретних видів робіт. Запропонований підхід забезпечує більш ефективне використання ресурсів контролю, сприяє зниженню кількості дефектів, підвищенню якості будівельної продукції та створює передумови для формування сучасної ризик-орієнтованої системи управління будівельним виробництвом.

3.3. Кількісне обґрунтування оптимальної чисельності інженерів технічного нагляду

Для апробації моделі розглянемо здійснення технічного нагляду на об'єкті будівництва лікувально-реабілітаційного корпусу ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М.М. Амосова НАМН України» у м. Києві, який є масштабним інфраструктурним проектом із загальною площею близько 35 тис. м² та тривалістю будівництва понад 3 роки [105]. Аналіз тендерної документації, розміщеної в системі Prozorro (ідентифікатор UA-2021-06-11-012028-b), підтверджує масштабність та складність об'єкта будівництва, а також тривалість надання послуг технагляду (понад X місяців), що верифікує вихідні параметри моделі. У період виконання монолітних робіт характерним є інтенсивний потік заявок на технічний нагляд, пов'язаний із перевіркою армування, опалубки, бетонування та приймання прихованих робіт. Прийmemo, що в середньому формується $\lambda = 2$ заявки на день (акти прихованих робіт, контрольні точки, погодження).

Середній час обслуговування однієї заявки включає виїзд на об'єкт, перевірку та оформлення документації і становить приблизно 3 години, що відповідає можливості обробки $\mu = 2,67$ заявки на день.

Коефіцієнт завантаження системи становить: $\rho = 2 / 2,67 \approx 0,75$

Отримане значення свідчить про те, що система є стійкою ($\rho < 1$), проте інженер працює з досить високим рівнем завантаження.

На основі наведених співвідношень визначимо основні характеристики системи:

середня кількість заявок у системі: $L \approx 0,75 / (1 - 0,75) = 3$ заявки;

середня кількість заявок у черзі: $Lq \approx 0,75^2 / (1 - 0,75) = 2,25$ заявки;

середній час перебування заявки в системі: $W \approx 1 / (2,67 - 2) = 1,49$ дня;

середній час очікування в черзі: $Wq \approx 0,75 / (2,67 - 2) = 1,12$ дня.

Отримані результати свідчать, що навіть при формально допустимому рівні завантаження інженера технічного нагляду середній час очікування перевірки перевищує один робочий день. Це означає, що частина будівельних процесів

(зокрема бетонування або закриття прихованих робіт) може затримуватися, що призводить до простоїв підрядника. Таким чином, застосування моделі M/M/1 показує, що робота одного інженера технічного нагляду на великому об'єкті є гранично ефективною лише за умови помірної інтенсивності робіт. У фазах активного виконання монолітних робіт виникає необхідність або зменшення інтенсивності заявок (шляхом кращого планування), або підвищення інтенсивності обслуговування (за рахунок цифровізації), або переходу до багатоканальної моделі (M/M/n), що передбачає залучення додаткових інженерів. Модель M/M/1 є базовою для аналізу навантаження на одного інженера технічного нагляду та дозволяє визначити граничні умови ефективного функціонування системи контролю. У разі перевищення допустимого рівня завантаження виникає необхідність переходу до багатоканальних моделей (M/M/n), що відповідає залученню додаткових інженерів або перерозподілу функцій контролю.

Ураховуючи результати моделювання одноканальної системи M/M/1, де середній час очікування перевірки $Wq \approx 1,12$ дня та середня кількість заявок у черзі $Lq \approx 2,25$, стає очевидним, що в умовах активного виконання монолітних робіт один інженер технічного нагляду не забезпечує безперервності будівельного процесу. Надходження заявок на рівні $\lambda = 2$ заявки/день при можливості обслуговування $\mu = 2,67$ заявки/день створює високий рівень завантаження ($\rho \approx 0,75$), що фактично обмежує ефективність роботи системи.

У сучасних масштабних будівельних проектах оптимізація роботи технічного нагляду повинна базуватися на кількісних критеріях, а не лише на експертних оцінках. Відповідно до положень теорії масового обслуговування, підвищення ефективності системи можливе шляхом збільшення кількості каналів обслуговування, тобто залучення додаткових інженерів. Такий підхід формалізується через багатоканальну модель M/M/n, де n – кількість паралельних каналів обслуговування, λ – інтенсивність надходження заявок, μ – інтенсивність обслуговування одного каналу, а черга залишається необмеженою.

Розглянемо випадок $n = 2$, тобто два інженери технічного нагляду, які одночасно обслуговують заявки. Тоді:

$$\rho = 2 / 2 \cdot 2,67 \approx 0,375 \quad (3.1)$$

Це значення свідчить про комфортний режим роботи системи, коли канали обслуговування не перевантажені. За спрощеними оцінками для М/М/п середній час очікування в черзі можна визначити як $W_q \approx 0,15$ дня, тобто приблизно 1–2 години, а середній час перебування заявки в системі $W \approx 0,4–0,5$ дня. Таким чином, порівняно з одноканальною системою, багатоканальна модель дозволяє зменшити час очікування більш ніж у 7 разів, практично усунути простої підрядника та забезпечити безперервність критичних будівельних процесів, таких як бетонування та закриття прихованих робіт (Таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Порівняння ключових показників ефективності для М/М/1 та М/М/2

Показник	М/М/1	М/М/2
Завантаження ρ	0,75	0,375
Середній час очікування W_q	1,12 дня	0,15 дня
Середня кількість заявок у черзі L_q	2,25	0,3
Ризик простоїв	високий	мінімальний

Джерело: сформовано автором

Збільшення кількості каналів обслуговування до $n = 3$ призводить до значного зменшення завантаження системи, що визначається співвідношенням

$$\rho = \lambda / n \cdot \mu = 2 / 3 \cdot 2,67 \approx 0,25. \quad (3.2)$$

Таке значення коефіцієнта завантаження свідчить про те, що система функціонує в режимі низького навантаження, при якому інженери технічного нагляду значну частину робочого часу перебувають у стані очікування нових заявок. У результаті додаткове залучення третього інженера не забезпечує суттєвого скорочення середнього часу очікування в черзі ($W_q \approx 0,05$ дня), що вказує на зниження економічної ефективності використання трудових ресурсів.

З огляду на це, оптимальною кількістю інженерів технічного нагляду для об'єкта є $n = 2$, оскільки така конфігурація забезпечує оптимальний баланс між

мінімізацією часу очікування заявок, виключенням простоїв будівельного процесу та раціональним використанням трудових ресурсів.

Проведений порівняльний аналіз функціонування систем з різною кількістю каналів обслуговування дозволяє перейти від опису характеристик до формування практичних рекомендацій. На основі отриманих розрахунків було розроблено формалізовану процедуру прийняття рішень щодо кадрового забезпечення служби технічного нагляду. Загальний алгоритм вибору оптимальної кількості інженерів для конкретної фази будівельного проекту наведено на Рисунку 3.13

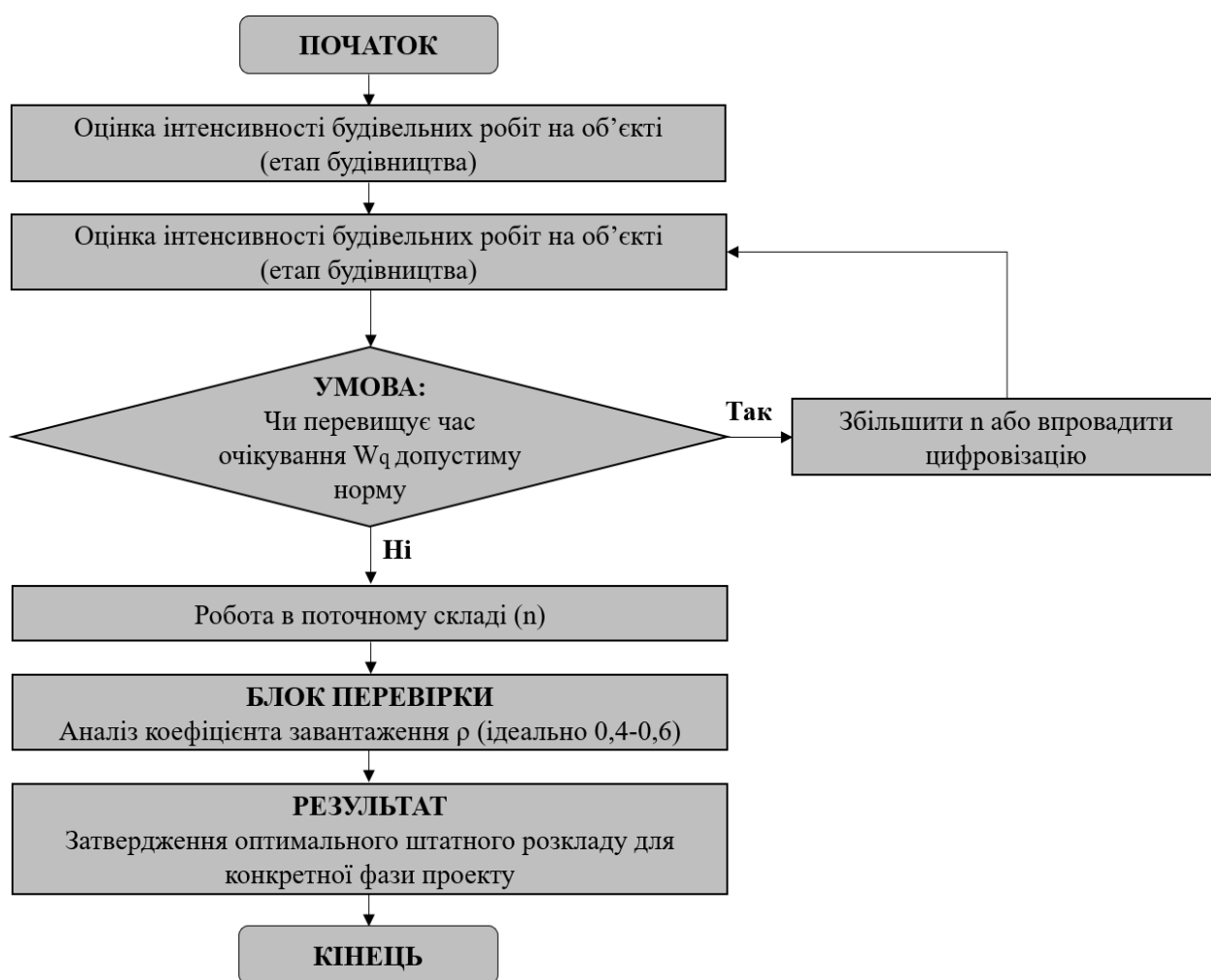


Рисунок 3.13 – Алгоритм вибору оптимальної кількості інженерів технічного нагляду

Джерело: сформовано автором

Для наочності ефекту оптимізації чисельності інженерів технічного нагляду доцільно побудувати графік залежності середнього часу очікування в черзі W_q від

кількості інженерів (n). По осі X відкладається кількість інженерів ($n = 1, 2, 3$), по осі Y – середній час очікування W_q (дні) (Рисунок 3.14).

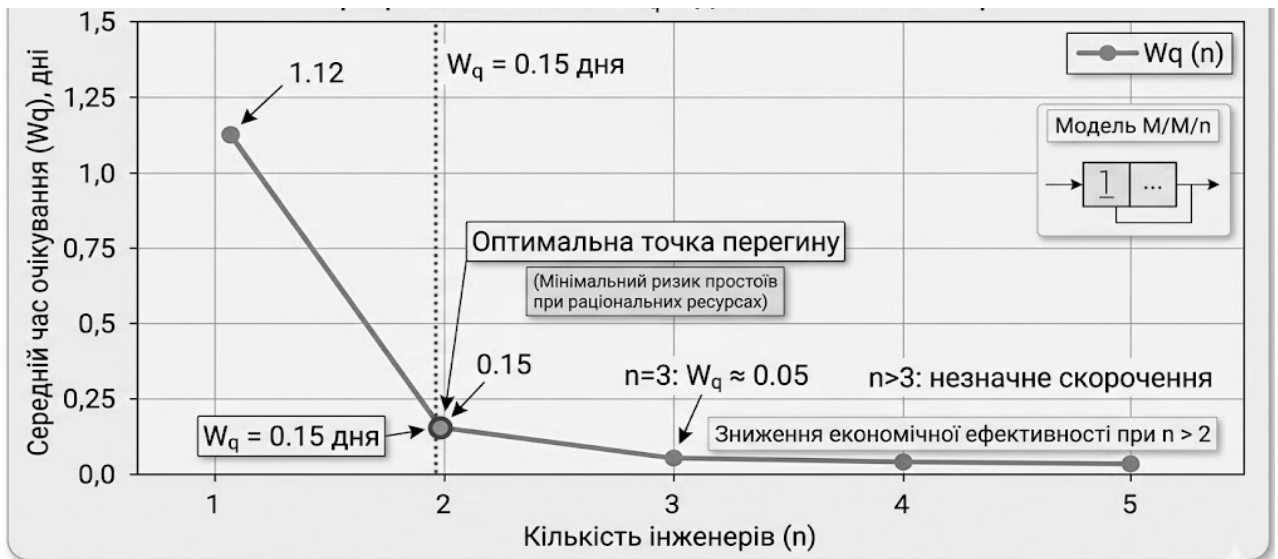


Рисунок 3.14 – Графік залежності середнього часу очікування в черзі (W_q) від кількості інженерів (n)

Джерело: сформовано автором

Графік відображає різке зниження часу очікування при переході від одноканальної системи $M/M/1$ ($W_q \approx 1,12$ дня) до двоканальної $M/M/2$ ($W_q \approx 0,15$ дня). Подальше збільшення чисельності інженерів до $n = 3$ забезпечує лише незначне скорочення часу очікування ($W_q \approx 0,05$ дня), що демонструє явну точку оптимізації.

Ключовий момент: точку $n = 2$ слід виділити як оптимальну точку перегину, де досягається баланс між мінімізацією часу очікування та економічною ефективністю використання трудових ресурсів. Візуально графік підкреслює, що залучення третього інженера не дає суттєвого виграшу в ефективності, водночас збільшує витрати на персонал.

Таким чином, багатоканальна модель $M/M/n$ виступає науково обґрунтованим інструментом планування системи технічного нагляду, що дозволяє враховувати динаміку надходження заявок, прогнозувати формування черг та

забезпечувати ефективний розподіл ресурсів між каналами обслуговування, підвищуючи продуктивність та безперервність будівельного процесу.

3.4. Оцінка впливу ускладнюючих факторів на трудомісткість здійснення технічного нагляду

Для перетворення якісних характеристик обраних факторів на кількісні показники з метою моделювання організаційно-технологічних рішень для обґрунтування трудомісткості технічного нагляду потрібно побудувати математичну модель (Таблиця 3.4) інтегрального показника складності технагляду (K_{ct}). Така математична модель дає змогу замовнику не просто констатувати складність, а обґрунтовано розрахувати додаткові витрати ресурсів на надання інжинірингових послуг [98].

Для цього пропонується формула адитивної згортки:

$$K_{ct} = \sum_{i=0}^7 w_i \cdot f_i \quad (3.3)$$

де:

w_i – ваговий коефіцієнт i -го фактора (визначається експертним шляхом, $\sum w_i = 1$).

f_i – бальна оцінка інтенсивності i -го фактора (від 1 до 5), де 1 – «незначний вплив», а 5 – «значний вплив».

Таблиця 3.4 – Матриця вагових коефіцієнтів та інтенсивності факторів

№	Фактор впливу (f_i)	Опис впливу на технагляд	Орієнтовна вага (w_i)
1	внесення змін до проекту	обсяг перевірки нових креслень та верифікації обсягів	0,20
2	рівень новітніх технологій	потреба в опануванні нових систем та методів контролю	0,15

3	інтенсивність праці	потреба у додаткових виїздах та подовжених змінах нагляду	0,15
4	рівень ризику/відповідальності	ступінь юридичної відповідальності за безпеку об'єкта	0,15
5	складність проекту	використання неперевіраних технологій, що потребують спецконтролю	0,10
6	рівень експертизи та досвід	необхідність залучення фахівців вищої кваліфікаційної категорії	0,15
7	тривалість проекту	адаптація графіка нагляду до подовженого договірному періоду	0,10

Джерело: сформовано автором

Кожен фактор у моделі є джерелом вхідної структурної інформації. Наприклад, високий бал за фактором «Внесення змін до проекту» сигналізує про необхідність оновлення цифрового двійника об'єкта та перегляду «зупиняючих точок»

Використання такої моделі дозволяє реалізувати системно-технічний підхід, описаний у [106], де організація будівельного виробництва розглядається через призму оптимізації та логістичних моделей.

Для підтвердження дієвості запропонованого підходу проведено розрахунок інтегрального показника складності технагляду K_{st} для проекту влаштування плоскої мембранної покрівлі по профлисту з утеплювачем та встановленням сонячних панелей. Вибір об'єкта зумовлений тим, що сучасні покрівлі є складними багатошаровими системами, де організаційно-технологічні рішення (ОТР) вимагають високої точності моделювання.

На основі систематизації факторів для даного об'єкта встановлено наступні рівні впливу (за 5-бальною шкалою):

Таблиця 3.5 – Матриця вагових коефіцієнтів та інтенсивності факторів

№	Фактор впливу (f _i)	Опис впливу на технагляд	Рівень впливу (f _i)
1	Внесення змін до проекту	суттєві зміни в ході робіт через зміну теплоізоляційного матеріалу та уточнення теплоізоляційних характеристик потребують значного включення персоналу до перепроєктування	4
2	Рівень новітніх технологій	використання полімерних мембран та інтегрованих сонячних панелей потребує від інженера технагляду специфічних знань, що виходять за межі «усталеної практики».	5
3	Інтенсивність праці	-	-
4	Рівень ризику/відповідальності	висока відповідальність за герметичність та енергоефективність системи	4
5	Складність проекту	складна геометрія покрівлі та велика кількість блоків і примикань	5
6	Рівень експертизи та досвід	-	-
7	Тривалість проекту	-	-

Джерело: сформовано автором

Підставляючи значення у формулу K_{ct} , отримуємо кількісну оцінку складності, яка для даного прикладу перевищує базовий рівень у 1,8 рази.

Отриманий інтегральний показник K_{ct} виступає визначальним чинником у процесі формування системи управління виробничими системами («Management of Production Systems»), оскільки висока інтенсивність факторів внесення змін до проекту (f₁) та загальної складності об'єкта (f₅) створює базис для побудови математичної моделі комплексної оцінки сумісності процесів. Застосування такої

моделі в діяльності технічного нагляду дозволяє не лише нівелювати ризики технологічних простоїв, а й гарантувати ефективне використання наявного ресурсу при улаштуванні сучасних покрівельних конструкцій. Водночас значна складність реалізації проекту зумовлює перехід до стратегії управління структурною інформацією, що трансформує традиційні методи контролю у формат взаємодії з цифровими двійниками об'єктів. У межах такого підходу кожна критична «зупиняюча точка» підлягає обов'язковій верифікації на основі даних математичного моделювання, що забезпечує безперервність та прозорість наглядових процедур.

3.5. Аналіз впливу повітряних загроз на здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єктів архітектури

Дослідження впливу повітряних загроз на діяльність інженерів з технічного нагляду проведено аналітично-розрахунковим методом. При проведенні даного аналізу вибрано основні фактори для оцінки ступеню ускладнення умов будівельних робіт внаслідок повітряних загроз, а саме, кількість та тривалість повітряних загроз. Таку інформацію враховано за даними сайту air-alarms.in.ua [107], що публікує статистику повітряних тривог в Україні. Для можливості врахування рівня впливу повітряних загроз залежно від розташування об'єкта будівництва проаналізовано наявність даних факторів в різних регіонах України [99].

Враховуючи відсутність інформації щодо ситуації в тимчасово окупованій АР Крим та постійну повітряну загрозу в Луганській області, в наступних дослідженнях дані щодо повітряних загроз за цими регіонами не наводяться. Дані щодо кількості та тривалості повітряних загроз (тривог) на території решти регіонів України за період з 01 січня 2025 р. по 30 червня 2025 р. наведено в Таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Кількість та тривалість повітряних тривог за регіонами України

№ з/п	Регіон України	К-ть повітряних тривог за добу, шт	Тривалість повітряних тривог, годин
1	Харківська область	1031	2119,6
2	Сумська область	852	2786,8
3	Запорізька область	823	1262,3
4	Донецька область	788	2603,8
5	Дніпропетровська область	703	1151,9
6	Полтавська область	600	1344,1
7	Чернігівська область	500	1194,6
8	Кіровоградська область	490	849,9
9	Миколаївська область	440	589,6
10	Херсонська область	423	542,4
11	Київська область	367	906,1
12	Одеська область	334	331,8
13	Черкаська область	312	248
14	Вінницька область	205	336
15	Житомирська область	180	440,5
16	Хмельницька область	126	212,3
17	Рівненська область	81	115,1
18	Тернопільська область	64	85,6
19	Волинська область	53	67,3
20	Чернівецька область	53	64,4
21	Львівська область	50	55,8
22	Івано-Франківська область	50	57,4
23	Закарпатська область	45	48,9

Джерело: сформовано автором на основі [99]

Аналізуючи кількість та тривалість повітряних тривог за регіонами України, можемо виявити декілька груп регіонів в яких вплив повітряних загроз на здійснення технічного нагляду буде різним (Таблиця 3.7).

Таблиця 3.7 – Рівні впливу повітряних загроз на проведення технічного нагляду

Група за рівнем впливу повітряних загроз	Регіони України	Усереднена питома вага тривалості повітряних тривог	Рівень впливу повітряної загрози
1	Сумська, Донецька та Харківська області	до 50% і вище	Надзвичайно високий
2	Полтавська, Запорізька, Чернігівська, Дніпропетровська та Київська області	20-30%	Високий
3	Кіровоградська, Миколаївська та Херсонська області	10-20%	Середній
4	Житомирська, Вінницька, Одеська, Черкаська та Хмельницька області	5-10%	Низький
5	Рівненська, Тернопільська, Волинська, Чернівецька, Івано-Франківська, Львівська та Закарпатська області	до 5%	Несуттєвий

Джерело: сформовано автором на основі [99]

Особливого значення рівень впливу повітряної загрози для інженерів з технічного нагляду набуває тоді, коли рівень оплати послуг з технічного нагляду залежить від трудовитрат персоналу, що надає такі послуги. Для врахування такого ускладнюючого фактору як наявність повітряних загроз можуть бути розглянуті декілька підходів.

Перший – усереднений, що передбачає застосування до трудовитрат інженерів з технічного нагляду відповідних коефіцієнтів, залежно від розташування об'єкту будівництва та відповідного рівня впливу повітряної загрози. Коефіцієнти, що пропонуються до використання для цього методу наведено в Таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Коефіцієнти до трудовитрат інженерів з технічного нагляду

Група за рівнем впливу повітряних загроз	1	2	3	4	5
Рівень впливу повітряної загрози	Надзвичайно високий	Високий	Середній	Низький	Несуттєвий
Коефіцієнт	1,5	1,25	1,15	1,1	-

Джерело: сформовано автором на основі [99]

Даний метод може бути застосований на етапі проектування й для планування організації роботи інженерів з технічного нагляду. При цьому, у випадках, коли об'єкт будівництва розташований в регіонах Групи 5 за рівнем впливу повітряних загроз, пропонується вважати такий вплив несуттєвим та на етапі планування не передбачати збільшення трудовитрат інженерів з технічного нагляду.

Для можливості більш детального врахування особливостей організації будівельного процесу, що мають місце під час воєнного стану на додаткові витрати часу та їх співвідношення із загальним часом будівництва пропонується застосовувати інший підхід, що передбачає врахування впливу не тільки кількості та тривалості повітряних загроз, а й пов'язані з цим додаткові витрати часу на підготовчо-заклучні роботи та віддаленість укриття.

Для цього було проведено аналіз кількості та тривалості повітряних тривог, що мали місце в м. Києві за досліджуваний період (Рисунки 3.15 та 3.16) та віддаленість будівельних майданчиків від мінімально можливого місця

перебування робітників під час повітряних тривог та можливі шляхи переміщення робітників до місця укриття.

У разі оголошення повітряної тривоги робітники мають закінчити виконання будівельних робіт, скласти інструмент, залишити своє робоче місце (в т.ч. при його знаходженні на певній висоті чи глибині) та пройти до укриття. Після сигналу «Відбій повітряної тривоги» робітники повертаються до своїх робочих місць.

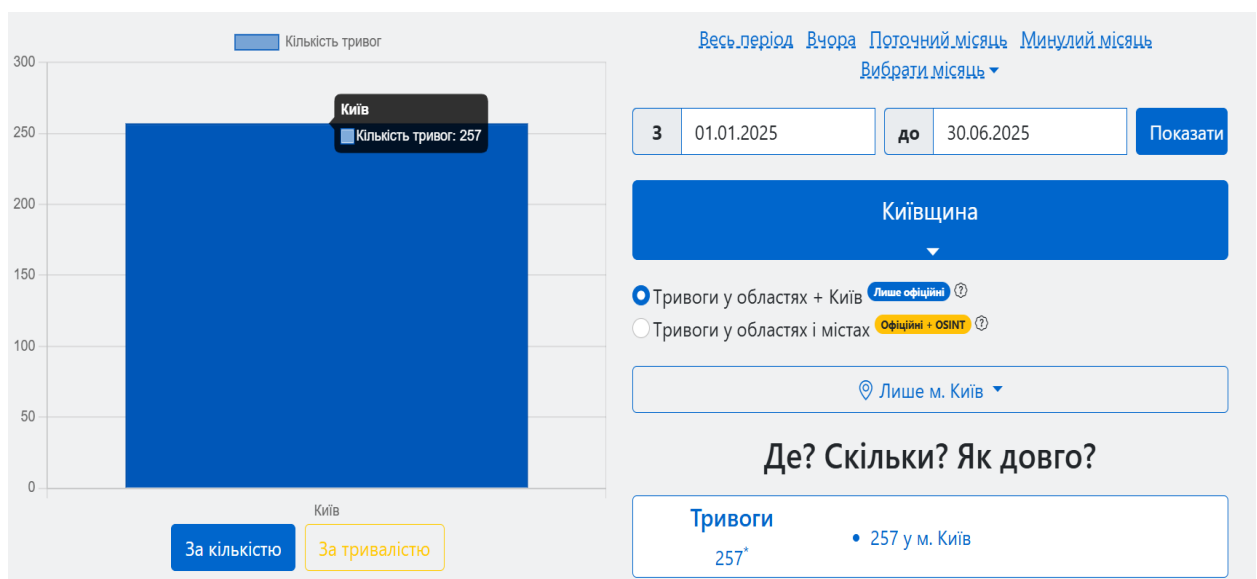


Рисунок 3.15 – Кількість повітряних тривог в м. Києві за період з 01 січня 2025 р. по 30 червня 2025 р.

Джерело: сформовано автором на основі [99, 107]

За період з 01 січня 2025 р. по 30 червня 2025 р. було 257 разів оголошено про повітряну загрозу. Сумарна тривалість тривог за цей період склала 409,1 год. При цьому, найдовша тривога тривала більше 9 годин.

Оскільки, після сигналу про початок повітряної тривоги робітники мають пройти до укриття, то додаткові витрати часу, які виникають при цьому складають:

а) час на складання інструменту становить в середньому 3 хвилини.

б) мінімальна відстань на яку мають відійти робітники під час повітряної тривоги – 100 м. Час, необхідний для відходу на таку відстань з врахуванням швидкості руху людини 5 км/год складатиме 1,2 хвилини.

в) час на повернення після закінчення тривоги складає так само 1,2 хв.

г) час на підготовку робочого місця та інструменту до подальшої роботи складає 5 хвилин.

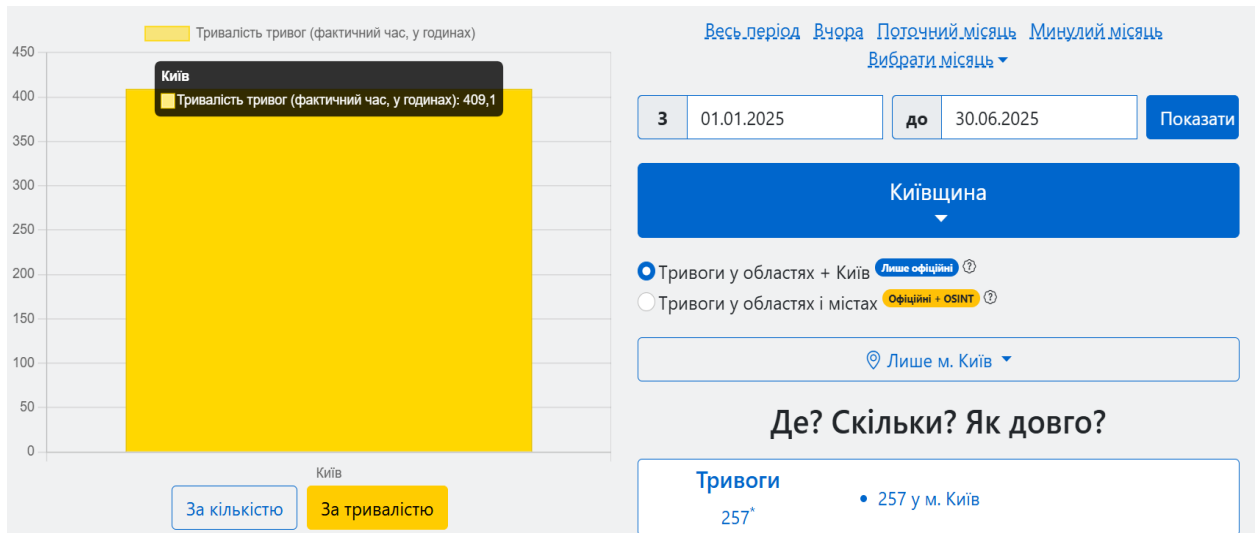


Рисунок 3.16 – Кількість повітряних тривог в м. Києві за період з 01 січня 2025 р. по 30 червня 2025 р.

Джерело: сформовано автором на основі [99, 107]

Складання інструменту та час переміщення на безпечну відстань за межі території будівельного майданчику відбувається після початку повітряної тривоги, а отже, час на ці дії не враховується додатково понад тривалість повітряних тривог.

При цьому, тривалість повітряних тривог можемо розглядати як технологічні простої в роботі, що виникають через обставини на які неможливо вплинути та мінімізувати їх.

$$T_{тп} = 409,1 \text{ год.}$$

Повернення після сигналу «Відбій повітряної тривоги» робітників та підготовка інструменту до подальшої роботи враховується додатково понад тривалість повітряних тривог. При цьому даний час, що витрачається для повернення до роботи після закінчення тривоги розглядаємо як час на додаткову підготовчо-заключну роботу (Тдпзр) понаднормативний, що враховується для нормальних умов.

$$T_{дзпр} = (1,2 \text{ хв} + 5 \text{ хв}) / 60 \text{ хв} = 0,10 \text{ год.} \quad (3.4)$$

Загальний час вимушеного простою ($T_{зп}$) через оголошення повітряних тривог:

$$T_{зп} = T_{тп} + T_{дзпр} \times N \quad (3.5)$$

де:

$T_{тп}$ – сумарна тривалість всіх повітряних тривог за період (409,1 год);

$T_{дзпр}$ – час на підготовчо-заключну роботу з розрахунку на одну тривогу, що дорівнює часу на повернення після закінчення тривоги та підготовку інструменту до подальшої роботи (0,10 год);

N – кількість повітряних тривог за період (257 тривог).

$$T_{зп} = 409,1 + 0,10 \times 257 = 434,8 \text{ год} \quad (3.6)$$

Для спрощення дослідження враховуємо, що будівельні роботи проводяться цілодобово та без вихідних. Загальна тривалість виконання будівельних робіт на об'єкті ($T_{з}$) в заданий період (181 доба) складає:

$$T_{з} = 181 \text{ доба} \times 24 \text{ год} = 4344 \text{ год.} \quad (3.7)$$

Відсоток простою, що враховує додаткові витрати труда інженерів з технічного нагляду внаслідок вимушених технологічних простоїв та додаткових понаднормових підготовчо-заклучних робіт внаслідок повітряних тривог ($K_{пт}$) складає:

$$K_{пт} = T_{зп} / T_{з} \times 100 \% \quad (3.8)$$

$$K_{пт} = 434,8 \text{ год} / 4344 \text{ год} \times 100\% = 10 \% \quad (3.9)$$

Коефіцієнт до норм витрат труда інженерів технічного нагляду для урахування впливу частих повітряних тривог приймаємо 1,1

$$K_{пт} = 1 + (10\% / 100) = 1,1 \quad (3.10)$$

Порівняємо результат, отриманий даним методом з даними Таблиці 3. Місто Київ знаходиться на території Київської області, яка віднесена до Групи 2 за рівнем впливу повітряних загроз (високий вплив). Коефіцієнт до витрат труда інженерів з технічного нагляду при проведенні технічного нагляду на територіях, віднесених до Групи 2 за рівнем впливу повітряних загроз – 1,2. Таку різницю можна пояснити

тим, що оголошення про повітряну загрозу для міста Києва та області відбувається не одночасно. Порівняння кількості та тривалості повітряних тривог в місті та області за досліджуваний період наведено в Таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Порівняння кількості та тривалості повітряних тривог в м. Києві та Київській області

Фактори впливу	Київська область	м. Київ
Кількість повітряних тривог	367	257
Тривалість повітряних тривог	906,1	409,1

Джерело: сформовано автором

Виходячи з вищенаведеного, можемо зробити висновок про доцільність проведення детального, а не усередненого аналізу можливих факторів, пов'язаних з наявністю повітряних загроз для планування організації здійснення технічного нагляду за будівництвом об'єктів архітектури для можливості отримання максимально достовірних даних щодо такого рівня впливу.

Проведене дослідження дозволило визначити рівень впливу повітряних загроз на трудомісткість проведення технічного нагляду. Встановлено, що залежно від місця розташування об'єкта будівництва, рівень впливу може бути як незначним, так і надзвичайно високим.

Для наочної демонстрації того, як саме повітряні загрози трансформують ключові параметри складності інжинірингової діяльності, нижче наведено порівняльну характеристику факторів у системі технічного нагляду (Таблиця 3.10).

Включення повітряних загроз до розрахунку показника Кст дозволяє реалізувати системний підхід до ідентифікації факторів, що прямо впливають на ефективність інжинірингових процесів. Як зазначається у дослідженнях, ігнорування таких чинників призводить до суттєвих втрат якості та необґрунтованого зростання витрат.

Таблиця 3.10 – Порівняльна характеристика факторів складності технічного нагляду в умовах безпекових загроз

Фактор складності (fi)	Стан «до» (умови стабільного середовища)	Стан «після» (вплив повітряних загроз)	Наслідки для моделі Kct
інтенсивність праці	визначається складністю технологічних процесів та плановим графіком робіт.	дестабілізується через цикли «зупинка-відновлення» та понаднормативні підготовчо-заключні роботи (Тдпзр).	зростання трудомісткості: вимагає застосування коефіцієнта 1,1–1,5 залежно від регіону.
тривалість проекту	пропорційна нормативній трудомісткості та обсягам будівництва.	стає надмірною через кумулятивний ефект повітряних тривог, сумарна тривалість яких може сягати значної питомої ваги часу будівництва.	подовження термінів: зумовлює необхідність динамічного перерахунку графіків та тривалості виконання робіт (Тз).
рівень ризику та відповідальності	корелює виключно з класом наслідків об'єкта (СС1–СС3).	ескалується через загрозу прихованих пошкоджень, ризик життю персоналу та необхідність евакуаційних заходів.	посилення відповідальності: вимагає наукового обґрунтування аналізу діяльності інженера в нестабільному середовищі.

Джерело: сформовано автором

Для технагляду це означає трансформацію традиційної моделі контролю:

- адаптація графіків – кожен період повітряної тривоги автоматично активує коефіцієнт складності для фактора «Тривалість проекту».

- інституціоналізація – врахування цих факторів має бути закріплене в умовах контракту для забезпечення прозорості та довіри між замовником і виконавцем.

Таким чином, інтеграція даних щодо кількості та тривалості повітряних тривог у математичну модель дозволяє нівелювати ризики неефективного використання трудових ресурсів. Це створює методичну основу для розробки нових нормативів часу, які б враховували зміни у структурі робочого часу, викликані зовнішніми небезпеками, що є критично необхідним для забезпечення технічної надійності об'єктів у воєнний період.

Висновки до розділу 3

1. Запропоновано матричну організаційно-технологічну модель технічного нагляду. Обґрунтовано перехід від моделі «універсального» інженера до профільної спеціалізації за трьома векторами (конструктивний, інженерний та енерго-автоматичний) із делегуванням рутинних завдань допоміжному персоналу. Для реалізації цього підходу розроблено схему інформаційної взаємодії фахівців через багаторівневі протоколи доступу в середовищі ЄДЕССБ.

2. Розроблено ризик-орієнтований метод визначення частоти контролю. На основі економетричного моделювання математично доведено, що постійна присутність інженера дає суттєвий превентивний ефект лише на роботах підвищеного ризику (наприклад, монолітних). На базі цих розрахунків сформовано «Матрицю ризик-орієнтованого технічного нагляду», яка пропонує адаптувати частоту інспекцій до фактичної критичності виконуваних робіт.

3. Сформовано алгоритм оптимізації чисельності інженерів за допомогою теорії масового обслуговування. Запропоновано використовувати багатоканальну модель (M/M/n) як інструмент прийняття кадрових рішень. Модель дозволяє розрахувати таку кількість фахівців, яка гарантує мінімізацію технологічних простоїв підрядника при збереженні економічної ефективності використання трудових ресурсів

4. Запропоновано методику оцінки складності технагляду з урахуванням безпекових загроз. Розроблено математичну модель розрахунку інтегрального показника складності на основі адитивної згортки 7 ключових факторів. Окремо запропоновано аналітично-розрахунковий метод врахування повітряних тривог, який включає застосування диференційованих коригуючих коефіцієнтів та алгоритм розрахунку втрат часу на підготовчо-заклучні роботи й евакуацію.

Основні результати дослідження, викладені в розділі 2 представлено в публікаціях автора [80, 98, 99]

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Архітектура єдиного цифрового середовища технічного нагляду та інтеграція з ЄДЕССБ

У сучасних умовах цифровізації будівельної галузі України ключовим інструментом забезпечення прозорості є Єдина державна електронна система у сфері будівництва (ЄДЕССБ). Проте на сьогодні її функціонал переважно орієнтований на етапи отримання дозвільної документації та фінального введення об'єкта в експлуатацію. Операційний (щоденний) контроль якості будівельних робіт залишається поза межами жорсткого цифрового регулювання, що призводить до збереження паперового документообігу, затримок у комунікації та зниження ефективності служби технічного нагляду.

Для вирішення цієї проблеми в рамках дисертаційного дослідження запропоновано концептуальну архітектуру єдиного цифрового середовища технічного нагляду (ЄЦСТН), яка функціонує як спеціалізований «Модуль операційного контролю» з можливістю інтеграції з ЄДЕССБ через відкриті програмні інтерфейси.

Головною метою запровадження ЄЦСТН є створення єдиного інформаційного поля для всіх учасників будівництва (замовника, генерального підрядника та служби технічного нагляду), де кожна технологічна операція залишає незмінний цифровий слід. Запропонована архітектура базується на трьох ключових функціональних блоках:

1. Цифровий двійник виконавчої документації

Основою системи є повна відмова від паперового Загального журналу робіт та актів огляду прихованих робіт. Документація переводиться у хмарне середовище. Кожен запис про виконання робіт, ініційований підрядником, автоматично отримує часову мітку та криптографічний захист. Це унеможливує внесення записів "заднім числом", що є критично важливим для забезпечення достовірності даних при розгляді спірних ситуацій. Усі погодження в системі

здійснюються виключно з використанням кваліфікованого електронного підпису (КЕП) відповідальних осіб.

2. Модуль автоматизованого ризик-орієнтованого планування

Цей блок є практичним втіленням математичної моделі, розробленої у Розділі 3 даної роботи. Система автоматично генерує графік інспекцій на основі розробленої Матриці ризиків. Алгоритм діє наступним чином:

- при відкритті підрядником наряду на роботи низького ризику (наприклад, земляні роботи), система планує періодичний приймальний контроль.
- при початку робіт критичного ризику (наприклад, монолітні роботи або зварювання несучих конструкцій), алгоритм автоматично формує заявку (генерує вхідний потік λ) та бронює час інженера технічного нагляду, гарантуючи його залучення безпосередньо у процесі виконання робіт.

3. Блок фіксації та інтеграції геопросторових даних

Архітектура ЄЦСТН передбачає можливість прямого завантаження інструментальних замірів, лазерного сканування та фото/відеофіксації з прив'язкою до координат (геотегів) безпосередньо з будівельного майданчика. Дані завантажуються допоміжним персоналом і миттєво стають доступними для аналізу спеціалізованому інженеру в офісі.

Запропонована інтеграційна архітектура дозволяє докорінно змінити парадигму взаємодії. З точки зору теорії масового обслуговування (СМО), переведення масиву даних у хмарне середовище та запровадження асинхронної роботи (коли інженер аналізує цифрові дані замість фізичного очікування на майданчику) дозволяє різко підвищити інтенсивність обслуговування заявок (μ).

Крім того, інтеграція такого операційного модуля з реєстрами ЄДЕССБ створює передумови для автоматизованого формування фінального пакету документів для введення об'єкта в експлуатацію. Державна інспекція архітектури та містобудування зможе в автоматичному режимі перевіряти наявність електронних актів прихованих робіт, підписаних КЕП інженера технічного нагляду, на кожен конструктивний елемент будівлі, що мінімізує корупційні ризики та людський фактор.

4.2. Реінжиніринг бізнес-процесів технічного нагляду та запровадження функції превентивного цифрового блокування

Перехід від традиційної моделі управління до ризик-орієнтованого цифрового середовища вимагає фундаментального перегляду алгоритмів взаємодії між підрядником та службою технічного нагляду. Для наочної демонстрації організаційних змін у роботі було проведено порівняльне моделювання бізнес-процесів приймання прихованих робіт.

На Рисунку 4.1 наведено алгоритм здійснення технічного нагляду за існуючим (традиційним) порядком.

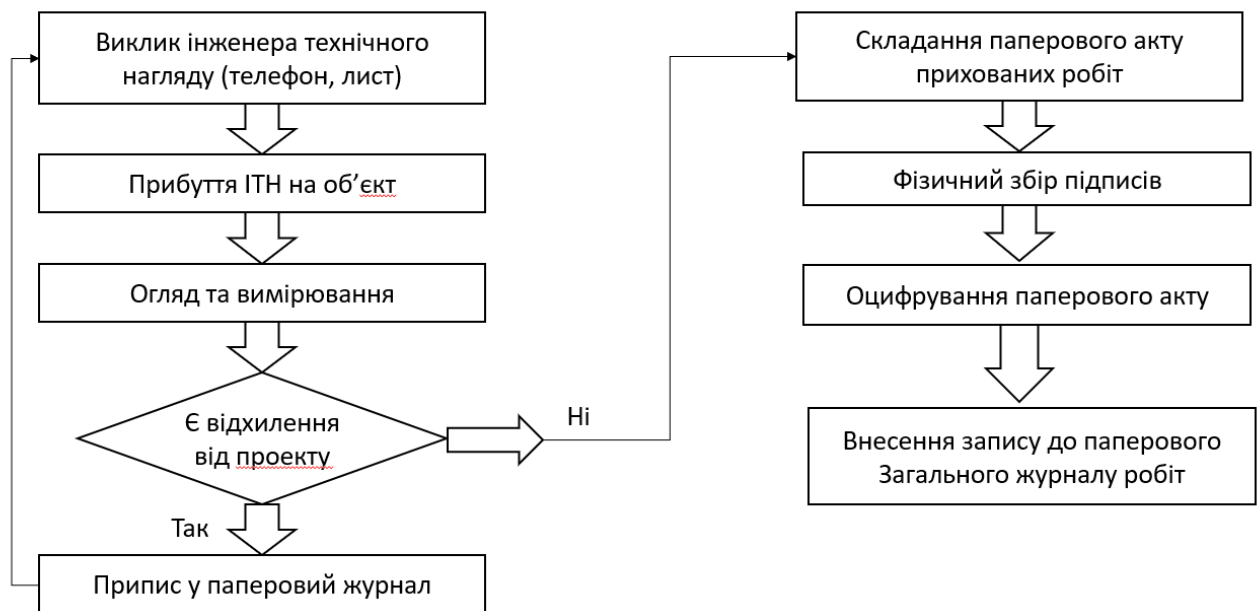


Рисунок 4.1 – Алгоритм здійснення технічного нагляду при підписанні акту прихованих робіт (існуючий порядок)

Джерело: складено автором

Як видно з наведеної схеми, існуючий алгоритм має чітко виражений лінійний та паперовий характер. Увесь цикл робіт – від отримання виклику до збору "мокрих" підписів усіх відповідальних осіб (виконроба, проектувальника, інженера технічного нагляду) – виконується послідовно і вимагає постійної фізичної присутності висококваліфікованого фахівця на майданчику. Головним недоліком цього алгоритму є відсутність жорсткого системного контролю: на

практиці підрядник часто продовжує виконання наступних етапів робіт (наприклад, бетонування) ще до моменту остаточного підписання паперового акту на приховані роботи (армування), що створює ризики приховування дефектів.

Для усунення цих недоліків розроблено оптимізований алгоритм із використанням єдиного цифрового середовища (ЄЦСТН), наведений на Рисунку 4.2.

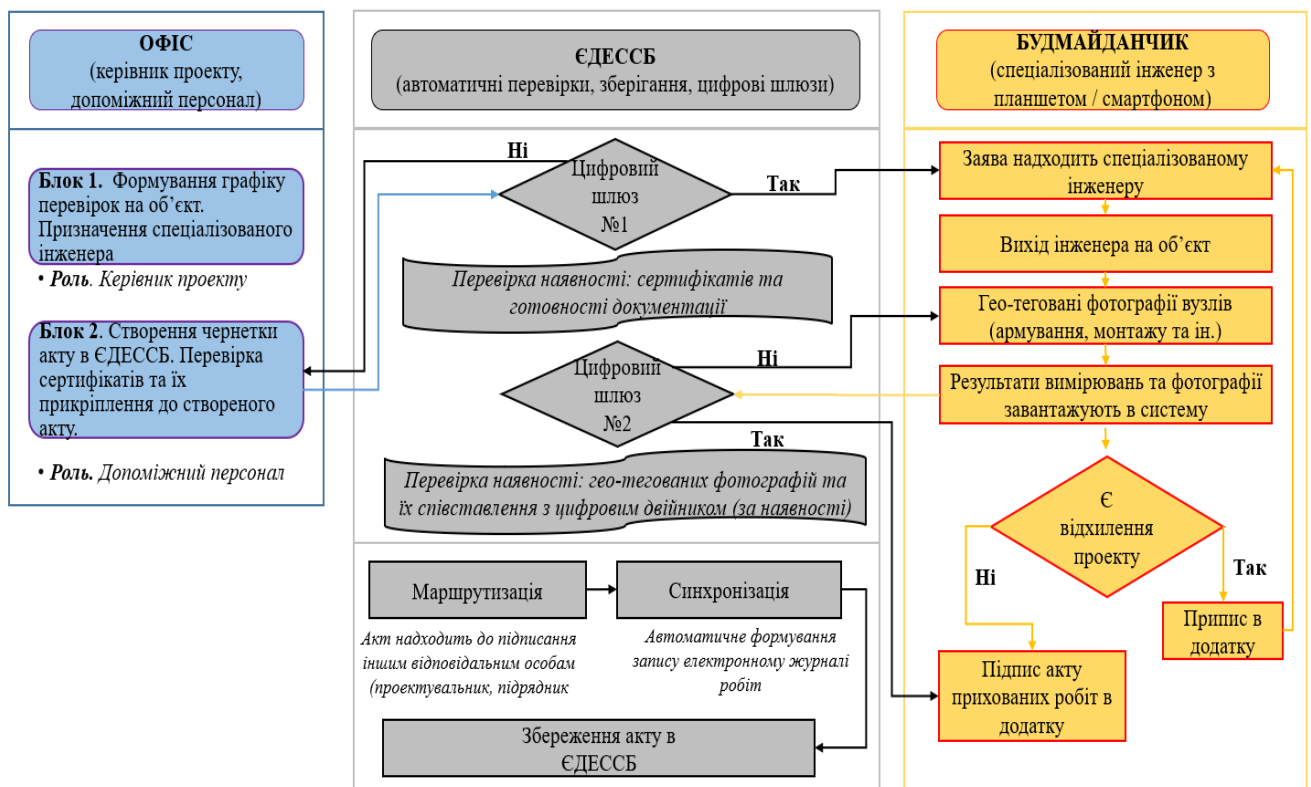


Рисунок 4.2 – Алгоритм здійснення технічного нагляду при підписанні акту прихованих робіт (запропонований порядок)

Джерело: складено автором

Запропонований порядок базується на двох фундаментальних інноваціях: паралелізації процесів через розподіл ролей та запровадженні функції превентивного блокування.

Алгоритм розподілу ролей (делегування рутини) передбачає розгалуження процесу. Допоміжний персонал бере на себе блок польових робіт: інструментальні

заміри, лазерне сканування, перевірку сертифікатів на матеріали та цифрову фото/відеофіксацію вузлів. Дані миттєво завантажуються у хмарне середовище. Спеціалізований інженер технічного нагляду, перебуваючи в офісі, виконує експертну функцію: аналізує отриманий цифровий масив та приймає рішення, яке фіксує кваліфікованим електронним підписом (КЕП).

Запропонований алгоритм превентивного цифрового блокування інтегровано з логікою дозвільної системи. Якщо під час електронної експертизи спеціалізований інженер виявляє дефект і не накладає свій КЕП на цифровий акт прихованих робіт, система автоматично блокує підряднику доступ до створення нарядів та актів (форми КБ-2в) на наступні технологічні процеси по даній захватці. Підрядник фізично та юридично позбавляється можливості продовжувати роботи (і отримувати за них оплату) до моменту завантаження нових фотоматеріалів, що підтверджують усунення порушення.

Такий реінжиніринг алгоритму дозволяє не лише ліквідувати ризик приховування браку, а й кардинально змінити структуру зайнятості персоналу. Зміна характеру виконання операцій має пряме відображення у витратах робочого часу. Для кількісної оцінки ефективності запропонованого алгоритму було проведено хронометраж трудовитрат на виконання однієї контрольної ітерації (підписання акту). Результати нормування наведено в Таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняння трудовитрат інженерів технічного нагляду при існуючому порядку проведення технічного нагляду та при запропонованому цифровому порядку

№	Назва елементів процесу, що нормується	Ознака виконання елементу при існуючому порядку	Ознака виконання при запропонованому цифровому порядку	Тривалість, хв	Виконавці (при запропонованому цифровому порядку)
1	Камеральні роботи				

1.1	Призначення спеціалізованого інженера в системі	-	+	5	Головний ІТН
1.2	Аналіз робочих креслень (КБ) та проекту виконаних робіт (ПВР)	+	+	20	Спеціалізований ІТН
1.3	Створення чернетки акта в системі	-	+	10	Допоміжний персонал
1.4	Перевірка сертифікатів на арматуру	+	+	12	Допоміжний персонал
1.5	Сканування підписаного акту	+	-	5	
2	Польові роботи				
2.1	Візуальний та інструментальний контроль на об'єкті	+	+	55	Спеціалізований ІТН
				35	Допоміжний персонал
2.2	Цифрова фотофіксація вузлів та завантаження геоданих	-	+	25	Допоміжний персонал
2.3	Заповнення та підписання акту та збір підписів у інших відповідальних виконавців	+	-	60	
3	Роботи в цифровому середовищі				
3.1	Генерація акту прихованих робіт в системі	-	+	10	Спеціалізований ІТН
3.2	Накладання КЕП та маршрутизація іншими учасниками	-	+	5	Спеціалізований ІТН
	Всього:	187	177:		
	Головний ІТН	-	5		
	Спеціалізований ІТН	-	90		
	Допоміжний персонал	-	82		

Джерело: складено автором

Аналіз даних Таблиці 4.1 демонструє принципову зміну структури робочого часу. Загальна тривалість процесу скоротилася несуттєво (з 187 до 177 хвилин), проте відбулося кардинальне перерозподілення навантаження між виконавцями. Трудовитрати сертифікованого (Спеціалізованого) ІТН зменшилися зі 187 хвилин до 95 хвилин (враховуючи витрати часу головного ІТН), тобто майже удвічі, оскільки 82 хвилини рутинної роботи (збір підписів, фотофіксація, перевірка сертифікатів) делеговано допоміжному персоналу.

Отримані результати хронометражу мають пряме відображення у математичній моделі СМО. Зменшення часу обслуговування однієї заявки ($t_{\text{обсл}}$) з 3 годин (187 хв) до 1,5 години (95 хв) для Спеціалізованого ІТН означає пропорційне зростання його інтенсивності обслуговування (μ).

Якщо при традиційному підході інженер міг опрацювати $\mu = 2,67$ заявки на день, то при дворівневій системі з використанням ЄЦСТН його пропускну здатність зростає до $\mu = 5,3$ заявки на день. Відповідно, при незмінному вхідному потоці ($\lambda = 2$) коефіцієнт завантаження системи ($\rho = \lambda/\mu$) падає з критичних 0,75 до стабільних 0,37.

Таким чином, запропонований реінжиніринг дозволяє ліквідувати черги заявок (Lq) та мінімізувати простой підрядника (Wq), залишаючись у межах одноканальної моделі (M/M/1) щодо сертифікованих інженерів. Економічна ефективність такого підходу полягає у тому, що вартість години допоміжного персоналу є значно нижчою за вартість години висококваліфікованого експерта, що оптимізує загальний бюджет технічного нагляду.

4.3. Оцінка організаційно-економічної ефективності впровадження цифрової ризик-орієнтованої моделі технічного нагляду

Впровадження єдиного цифрового середовища технічного нагляду (ЄЦСТН) та реінжиніринг алгоритмів взаємодії генерують комплексний організаційно-економічний ефект, який можна розділити на три складові: оптимізація прямого фонду оплати праці, ліквідація втрат від технологічних простоїв та усунення ризиків критичного браку.

Як було доведено результатами хронометражу (Таблиця 4.1), делегування рутинних польових функцій допоміжному персоналу скорочує час безпосередньої зайнятості сертифікованого інженера на одному циклі робіт більш ніж удвічі (зі 187 до 90 хвилин). Зважаючи на те, що ринкова вартість однієї людино-години кваліфікованого інженера технічного нагляду (Спеціалізованого ІТН) у 2–3 рази перевищує вартість години роботи техніка (Допоміжного персоналу),

запровадження дворівневої структури дає змогу суттєво знизити загальний бюджет на контрольні заходи.

У термінах теорії масового обслуговування (СМО) це дозволяє збільшити пропускну здатність системи μ без залучення додаткових дорогих ресурсів n . Цільова функція мінімізації витрат на управління якістю F_{cost} , розроблена в Розділі 3, при практичній реалізації набуває вигляду:

$$F_{cost} = C_{eng} \cdot n_{eng} + C_{tech} \cdot n_{tech} + C_{wait} \cdot W_q \rightarrow \min \quad (4.1)$$

де:

- C_{eng} , C_{tech} – питома вартість утримання спеціалізованого інженера та допоміжного персоналу відповідно ($C_{eng} \gg C_{tech}$);
- n_{eng} , n_{tech} – кількість залученого персоналу;
- C_{wait} – збитки підрядника від простою в очікуванні інспекції;
- W_q – середній час очікування заявки в черзі.

Оскільки система ЄЦСТН переводить функцію сертифікованого інженера у офіс, один фахівець здатен одночасно обслуговувати кілька будівельних майданчиків (обробляючи цифрові пакети даних), що кардинально знижує питому вартість технічного нагляду в розрахунку на один об'єкт.

Відповідно до розрахунків СМО (Розділ 3), при традиційному одноканальному підході (М/М/1) на пікових етапах будівництва середній час очікування інспекції (W_q) може перевищувати 1 робочий день. Для підрядника це означає простій бригад робітників, орендованої техніки, що призводить до прямих фінансових збитків та зриву календарного графіка виконання робіт.

Асинхронний режим роботи в цифровому середовищі (запропонований на Рисунку 4.2) нівелює цю проблему. Завдяки тому, що допоміжний персонал постійно перебуває на майданчику, фіксація прихованих робіт відбувається миттєво після їх завершення. Зниження фактора очікування (W_q до 0) забезпечує безперервність будівельного потоку, що позитивно впливає на загальну рентабельність проекту для інвестора.

Найбільший прихований економічний ефект від запропонованої моделі полягає в алгоритмічному унеможливленні критичного браку. У кваліметрії будівництва діє загальновизнане "правило десятикратної вартості": витрати на усунення дефекту зростають вдесятеро на кожному наступному етапі життєвого циклу конструкції.

При традиційному технічному нагляді підрядник, не дочекавшись фізичного візиту інженера, виконує бетонування по дефектному арматурному каркасу. Дефект виявляється лише на етапі набору міцності (на 28-му добу). Вартість усунення (демонтаж бетону, вивіз сміття, повторне армування, штрафи за зрив строків) є колосальною.

При запровадженні сценарію цифрового нагляду, інтеграція ЄЦСТН із системою формування актів унеможливорює перехід до бетонування. Дефект (наприклад, невідповідний крок арматури) виявляється спеціалізованим інженером за цифровими фотографіями. Роботи блокуються системою на етапі армування. Вартість усунення дефекту зводиться лише до трудовитрат робітників, що будуть зайняті при цьому.

4.4. Напрями нормативно-правової імплементації моделі та технічне завдання на створення спеціалізованого кабінету в ЄДЕССБ

Практична реалізація запропонованої у дослідженні ризик-орієнтованої дворівневої моделі технічного нагляду неможлива без відповідної адаптації галузевої нормативно-правової бази та розширення функціоналу Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДЕССБ).

Для забезпечення легітимності розроблених алгоритмів (зокрема, делегування польових робіт та превентивного блокування), пропонується внести такі зміни до нормативних актів:

1. У Порядок здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єктів архітектури (Постанова КМУ № 903): Ввести поняття «асинхронного цифрового контролю» та легалізувати дворівневу структуру служби технічного нагляду. Нормативно закріпити право сертифікованого інженера приймати рішення на

основі цифрових геопросторових та медіа-даних, зібраних несертифікованим допоміжним персоналом, за умови їх криптографічного захисту.

2. У ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва»: Закріпити виключно електронний формат ведення Загального журналу робіт (КБ-6) та Актів огляду прихованих робіт у середовищі ЄДЕССБ, скасувавши вимогу щодо їх дублювання на паперових носіях.

З метою технічної реалізації цих нормативних ініціатив у дисертації розроблено концептуальне технічне завдання на розробку спеціалізованого «Електронного кабінету технічного нагляду» в екосистемі ЄДЕССБ:

1. Користувацькі ролі та рівні доступу

- Підрядник (виконавець робіт): Має право ініціювати заявки на перевірку, вносити дані про виконані обсяги у цифровий Журнал робіт.
- Допоміжний персонал ТН (Технік-фіксатор): Має право завантажувати в систему фото/відеоматеріали, скани сертифікатів та результати інструментальних замірів. Не має права цифрового підпису актів.
- Спеціалізований інженер ТН: Має виключне право експертизи даних, затвердження (накладання КЕП) або відхилення електронних актів прихованих робіт, видачі електронних приписів.

2. Функціональний блок 1: Цифровий двійник журналу робіт та актів

- Переведення форми КБ-6 у формат електронної бази даних. Кожен запис є окремим електронним документом, який не підлягає видаленню чи редагуванню після збереження (принцип immutability).
- Автоматична генерація шаблонів Актів огляду прихованих робіт на основі записів у Журналі.

3. Функціональний блок 2: Сховище об'єктивного контролю

- Створення модуля для прямого завантаження медіафайлів безпосередньо з мобільних пристроїв допоміжного персоналу на будівельному майданчику.
- Системна вимога до файлів: автоматичне зчитування та фіксація метаданих (EXIF) – незмінних геотегів (GPS-координат) та точного часу зйомки

(timestamp). Це унеможливило завантаження архівних або відредагованих фотографій.

4. Функціональний блок 3: Модуль автоматизованого планування (Диспетчеризація)

- Інтеграція розробленої Матриці ризиків (Розділ 3) в алгоритми ЄДЕССБ.
- Система автоматично визначає категорію ризику ініційованих підрядником робіт і формує розклад завдань для інженерів (керування інтенсивністю вхідного потоку λ), повідомляючи їх через push-сповіщення про необхідність експертизи.

5. Функціональний блок 4: Тригер превентивного блокування

- Це ключовий алгоритм системи контролю якості. Програмна логіка модуля: IF (Акт на приховані роботи етапу N не містить КЕП інженера технічного нагляду) THEN (Кнопка "Створити наряд/запис" для технологічного етапу N+1 є неактивною для Підрядника).
- Синхронізація з фінансовим модулем: обсяги робіт, акти на які не підписані в ЄДЕССБ КЕПом інженера технічного нагляду, автоматично блокуються для включення у форми первинної облікової документації (Акти приймання виконаних будівельних робіт форми № КБ-2в).

Висновки до розділу 4

1. Доведено ефективність реінжинірингу організаційної структури технічного нагляду. Запровадження дворівневої моделі технічного нагляду (розподіл на несертифікований допоміжний персонал для польової фіксації та спеціалізованих інженерів для камеральної експертної роботи) дозволяє перевести роботу системи у паралельний асинхронний режим. Дані хронометражу підтверджують, що такий підхід скорочує пряму зайнятість сертифікованого фахівця на одному технологічному циклі більш ніж удвічі (зі 187 до 90 хвилин).

2. Підтверджено ліквідацію технологічних простоїв (оптимізація параметрів СМО). Зменшення часу експертизи одного акта за рахунок цифровізації забезпечує двократне зростання інтенсивності обслуговування (μ). Це дозволяє системі

стабільно функціонувати в межах одноканальної моделі без залучення додаткових дорогих ресурсів, повністю усуваючи черги заявок (Lq) та фінансові втрати підрядника від простоїв на майданчику (Wq до 0).

3. Обґрунтовано економічну доцільність превентивного цифрового блокування. Інтеграція алгоритмів операційного контролю з єдиним цифровим середовищем унеможлиблює продовження робіт (наприклад, бетонування) без накладання КЕП інженера на електронний акт прихованих робіт (армування). Це алгоритмічно зводить до нуля ризик виникнення критичного браку та багатократного зростання витрат на демонтаж і перероблення конструкцій на пізніших етапах будівництва.

4. Сформовано нормативно-технічний базис для імплементації моделі. Практична реалізація запропонованої концепції вимагає оновлення галузевої нормативної бази (Постанова КМУ № 903, ДБН А.3.1-5) у частині легалізації цифрового асинхронного контролю. Розроблене концептуальне технічне завдання на створення модуля «Кабінету технічного нагляду» в ЄДЕССБ створює готову дорожню карту для інтеграції ризик-орієнтованого планування в державну екосистему управління будівництвом.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що сучасна модель технічного нагляду в Україні перебуває у стані системної кризи через невідповідність між стрімкою цифровізацією будівельних процесів та застарілими інституційними механізмами контролю. Доведено, що технічний нагляд в сучасних умовах являється не просто контрольною функцією, а є елементом «когнітивно-інтеграційного простору», де обґрунтованість управлінських рішень безпосередньо залежить від якості обробки даних у реальному часі.

2. Виявлено, що чинна практика уніфікованого нагляду (де один фахівець контролює весь спектр робіт) призводить до формалізації процедур, зниження глибини експертизи та підвищення ризиків відмов високовідповідальних інженерних систем. Встановлено, що у нормативно-правовому полі, відсутність механізмів цифрової верифікації (акти на приховані роботи в ЄДЕССБ, цифрові паспорти об'єктів) перетворює технічний нагляд на джерело адміністративних затримок та корупційних ризиків.

3. Науково обґрунтовано перехід від лінійної структури нагляду до матричної моделі, яка базується на принципах функціональної спеціалізації (технологічні кластери) та динамічного розподілу ресурсів. Така модель дозволяє:

- закріпити профільних спеціалістів за критичними вузлами будівництва, що підвищує якість контролю;
- зменшити ризики «людської помилки» через спеціалізацію наглядового персоналу;
- зменшити навантаження на високоспеціалізованих інженерів технічного нагляду за рахунок введення допоміжного персоналу.

4. Розроблено ризик-орієнтований метод визначення інтенсивності контролю, згідно з яким адаптація частоти виходів інженерів технічного нагляду до фактичної критичності робіт (через авторську «Матрицю ризик-орієнтованого технічного нагляду») дозволяє забезпечити превентивний ефект на критичних етапах будівництва (наприклад, при виконанні монолітних робіт) за оптимального використання ресурсів. Методологічно це доповнено використанням

багатоканальної моделі теорії масового обслуговування, яка виступає інструментом прийняття обґрунтованих кадрових рішень. Впровадження такої моделі дозволяє математично розрахувати оптимальну чисельність спеціалізованих інженерів технічного нагляду, що гарантує мінімізацію технологічних простоїв підрядника при збереженні високої економічної ефективності використання наглядового персоналу в межах матричної структури управління.

5. Розроблено методичні підходи до оцінювання складності технічного нагляду, що базуються на математичній моделі інтегрального показника із використанням методу адитивної згортки семи ключових факторів. Запропоновано аналітично-розрахунковий метод коригування наглядових функцій в умовах воєнного стану, який інтегрує коефіцієнти безпекового впливу та алгоритм компенсації втрат часу на евакуацію і підготовчо-заклучні операції. Застосування цього підходу дозволяє об'єктивно трансформувати нормативну трудомісткість у реальні робочі витрати часу, забезпечуючи коректне планування ресурсів служби технічного нагляду навіть за умов нестабільного виробничого середовища та високого рівня зовнішніх безпекових загроз

6. Доведено, що превентивне цифрове блокування виконання робіт (через накладання КЕП інженера в електронному акті) є ефективним інструментом мінімізації критичного браку, що алгоритмічно унеможливорює неконтрольований перехід до наступних етапів будівництва. Сформовано дорожню карту впровадження моделі в державну екосистему через оновлення галузевої нормативної бази (Постанова КМУ № 903, ДБН А.3.1-5) та розробку технічного завдання на створення модуля «Кабінету технічного нагляду» в ЄДЕССБ.

Розроблені алгоритми та методичні підходи щодо формування та функціонування спеціалізованих команд технічного нагляду є готовим управлінським продуктом, який може бути застосований інжиніринговими компаніями при реалізації проектів відбудови України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковтун М.О. Деякі аспекти нормативно-правового регулювання здійснення технічного нагляду у будівництві. *Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених «BUILD-MASTER-CLASS-2023»*, 29 грудня 2023 р., м. Київ, Україна. С. 363-364. URL: https://drive.google.com/file/d/1UTz7ErwYUJnzZZ_N1TxV1cuqTCiR_mJc/view
2. Тугай О.А., Ковтун М.О. Функції особи, що здійснює технічний нагляд під час будівництва об'єктів архітектури. *Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології: Міжнародний науково-технічний форум: Програма та тези доповідей* (15-16 листопада 2023 р., м. Київ). Київ: Видавництво Ліра-К, 2023. С. 178-179. URL: <https://drive.google.com/file/d/1MtRBPiOTuPp1zPEUphMqLQ-VLfYdXwU/view>
3. Цивільний кодекс України : Закон України від 16 січ. 2003 р. № 435-IV
4. Закон України «Про архітектурну діяльність» від 20.05.1999 № 687-XIV
5. Про авторський та технічний нагляд під час будівництва об'єкта архітектури : Постанова Кабінету Міністрів України від 11 липня 2007 р. № 903. Верховна Рада України: офіційний вебпортал. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/903-2007-%D0%BF> (дата звернення: 20.02.2026)
6. Зміна № 11 до Довідника кваліфікаційних характеристик професій працівників Випуск 64 «Будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи» Розділ 1 «Керівники, професіонали, фахівці», затверджена наказом Мінрегіону від 08.08.2017 р. № 192
7. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 13 квітня 2020 року № 89 «Про затвердження примірних форм договорів про здійснення технічного нагляду та про надання інженерно-консультаційних послуг у будівництві»

8. Кодекс законів про працю України : Кодекс України від 10.12.1971 № 322-VIII (зі змінами та доповненнями). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08#Text> (дата звернення: 19.03.2026)
9. Професійний стандарт «Інженер з технічного нагляду (будівництво)» : Наказ Рішення Правління ВГО «ГІТН» (Протокол засідання Правління № 6/1/23 від 27.06.2023 р.). URL: https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/532-profesijnij_standart_itn.pdf (дата звернення: 19.03.2026)
10. Про затвердження Національної рамки кваліфікацій : Постанова Кабінету Міністрів України від 23.11.2011 № 1341 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 05.02.2026 № 159). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF#Text> (дата звернення: 19.03.2026)
11. Про акредитацію органів з оцінки відповідності : Закон України від 17.05.2001 № 2407-III (зі змінами та доповненнями). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2407-14> (дата звернення: 19.03.2026)
12. Menicou, M., Vassiliou, V., Christou, P., & Charalambides, M. (2010). A Real-Time Quality Assurance Tool for the Cyprus Construction Industry. *Proceedings of the 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, 77-82. DOI: 10.3182/20100908-3-PT-3007.00017
13. Seib, S., Zheng, Y., Melzner, J., Wium, J., & Seppänen, O. (2025). Ontology-based representation of quality assurance and inspection planning in construction. *Automation in Construction*, 177, 106268. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106268
14. Lünig, J. N., Seiß, S., Schwerdtner, P., & Melzner, J. (2025). Reducing construction quality costs through ontology-based inspection planning. *Advanced Engineering Informatics*, 68, 103650. DOI: 10.1016/j.aei.2025.103650
15. International Code Council. (2018). International Building Code (IBC) 2018. International Code Council.

16. Lee, D. W., & Lee, T. S. (2004). The Improvement & Management of Historical Data at the Construction Site: Focused on the Supervision Committee. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 8(5), 479-489. DOI: 10.1007/BF02829143
17. Guo, J., Deng, L., Liu, P., & Sun, T. (2025). Egocentric-video-based construction quality supervision (EgoConQS): Application of automatic key activity queries. *Automation in Construction*, 170, 105933. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105933
18. Mjakuškina, S., Kavosa, M., & Lapiņa, I. (2019). Achieving Sustainability in the Construction Supervision Process. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(3), 47. DOI: 10.3390/joitmc5030047
19. Інноваційні основи відновлення та розвитку країн після збройних конфліктів: інноваційний вимір: колективна монографія / за ред. Д.е.н. Омеляненка В.А. Суми: Інститут стратегій інноваційного розвитку і трансферу знань. 2022. 280 с.
20. Рамкова угода з Європейським інвестиційним банком. Програма з відновлення України та Надзвичайна кредитна програма для відновлення України. Керівні принципи імплементації програм. Київ, 2024. 250 с. <https://mindev.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/kerivni-principi-implementaciyi-program-u-novii-redakciyi-2.pdf>
21. Про публічні закупівлі : Закон України від 25 груд. 2015 р. № 922-VIII: станом на 16 берез. 2026 р. [Електронний ресурс] / Верховна Рада України. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19>
22. Методика визначення вартості дорожніх робіт та послуг щодо визначення вартості нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування. Затверджено Наказом Міністерства інфраструктури України від 07.10.2022 № 753 зі змінами і доповненнями
23. Оцінка корупційних ризиків у процесах технічного нагляду та пропозиції щодо їх мінімізації : звіт за результатами дослідження / EUACI Anticorruption Initiative. URL: https://euaci.eu/wp-content/uploads/2025/04/Otsinka-koruptsiynykh-ryzykiv-u-protsesakh-tekhnichnoho-nahliadu_10.03-.pdf

24. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. 688 p. URL: <https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook%3A+A+Guide+to+Building+Information+Modeling-p-9781119287537>
25. Azhar S. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*. 2011. Vol. 11, No. 3. P. 241–252. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
26. Bryde D., Broquetas M., Volm J. M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*. 2013. Vol. 31, No. 7. P. 971–980. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.09.009>
27. Succar B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*. 2009. Vol. 18, No. 3. P. 357–375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
28. Ding L., Zhou Y., Akinci B. Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Automation in Construction*. 2014. Vol. 46. P. 82–93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.009>
29. Akinci B., Boukamp F., Gordon C. et al. A formalism for utilization of sensor systems and integrated project models for active construction quality control. *Smart Structures and Systems*. 2006. Vol. 2, No. 4. P. 299–318. DOI: <https://doi.org/10.12989/sss.2006.2.4.299>
30. Golparvar-Fard M., Peña-Mora F., Savarese S. Automated Progress Monitoring Using Unordered Daily Construction Photographs and IFC-Based Building Information Models. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2015. Vol. 29, No. 1. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000344](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000344)
31. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction*. 2014. Vol. 38. P. 109–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>

32. Wang X., Love P. E., Gu N., Davis P. R. An integrated framework for implementing Building Information Modeling (BIM). *Automation in Construction*. 2013. Vol. 35. P. 399–411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.005>
33. Noardo F., Olsson P., Harrie L. et al. Open standards for 3D city models and BIM to support digital building permits. *ITcon*. 2020. Vol. 25. P. 110–133. URL: https://www.itcon.org/papers/2020_7.content.04944.pdf
34. Sacks R., Koskela L., Dave B. A., Owen R. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2010. Vol. 136, No. 9. P. 968–980. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203)
35. Chernyshev D., Ryzhakova G., Honcharenko T., Petrenko H., Chupryna I., Reznik N. Digital Administration of the Project Based on the Concept of Smart Construction. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol. 495. P. 33–45. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-26956-1_3
36. Jallan Y., Garcia de Soto B. Conceptual framework for the automatic generation of construction schedules. *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*. 2019. P. 1301–1308. DOI: <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0175>
37. Дружинін М. А., Малихін М. О., Степанюк Р. Б. Науково-прикладні засади організаційно-технологічного моделювання девелоперських проектів у форматі стратегічних інновацій. *Містобудування та територіальне планування*. 2024. № 87. С. 193–205. DOI: [10.32347/2076-815x.2024.87.193-205](https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.87.193-205)
38. Li H., Lu M., Hsu S. C. et al. Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement. *Safety Science*. 2015. Vol. 75. P. 107–117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.013>
39. Tarí J. J., Sabater V. Quality tools and techniques: Are they necessary for quality management? *International Journal of Production Economics*. 2004. Vol. 92, No. 3. P. 267–280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.018>
40. Irizarry J., Costa D. B. Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks. *Journal of Management*

in Engineering. 2016. Vol. 32, No. 3. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000422](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000422)

41. Martinez J. G., Gheisari M., Alarcón L. F. UAV Integration in Current Construction Safety Planning and Monitoring Processes. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2020. Vol. 146, No. 4. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001846](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001846)

42. Teizer J. Status quo and open challenges in vision-based sensing and tracking of temporary resources on infrastructure construction sites. *Advanced Engineering Informatics*. 2015. Vol. 29, No. 2. P. 225–238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.03.002>

43. Gheisari M., Irizarry J. Investigating human and technological requirements for successful implementation of a BIM-based mobile augmented reality environment in facility management practices. *Facilities*. 2016. Vol. 34, No. 1/2. P. 69–84. DOI: <https://doi.org/10.1108/F-02-2014-0012>

44. Малихін М. О., Приходько Д. О., Гергі М. С., Кацюба І. Р., Кирик Я. Я., Жалдак Р. Ю. Розвиток інтеграційних моделей управління операційними системами будівельних проєктів у мультипроєктному середовищі. *Просторовий розвиток*. 2024. № 10. С. 365–377. DOI: [10.32347/2786-7269.2024.10.365-377](https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.10.365-377)

45. Increasing the efficiency of the Lithuanian construction supervision system: Output 2: Summary report on data analysis findings / OECD. 2024. 47 p.

46. Varandas L. A. M. Implementation of BIM Methodologies in Construction Supervision: Application to the case study of the Rehabilitation of Skylights in the Civil Pavilion of Instituto Superior Técnico : Master's thesis. Universidade de Lisboa, 2022. 98 p.

47. Новак Є. В., Лащівський В. В. Трансформація системи управління якістю будівництва: європейський досвід. *Будівельне виробництво*. 2026. № 82. С. 25–33

48. Чуприна, Ю. А. (2019). Залучення прикладних переваг ВІМ-технологій до методики і практики формування життєвого циклу проєктів. *Економіка та держава*, (2), 67–71. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2019.3.67>

49. Чуприна Ю. А. Система когнітивно-інтеграційного моделювання організації будівництва : монографія. Київ : ПП «Сердюк В.Л.», 2026. 366 с
50. Жалдак, Р., Прусов Д., Приходько О. (2026). Шляхи інтеграції технічного нагляду в середовище інформаційного моделювання будівництва для переходу до автоматизованого науково-технічного супроводу. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 57(2), 222–234. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57\(2\).222-234](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(2).222-234)
51. Bunni N. G. *The FIDIC Forms of Contract*. 3rd ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. 1104 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470690338>
52. Baker E., Mellors B., Chalmers S., Lavers A. *FIDIC Contracts: Law and Practice*. London: Informa Law, 2009. 656 p. URL: <https://www.routledge.com/FIDIC-Contracts-Law-and-Practice/Baker-Mellors-Chalmers-Lavers/p/book/9781843116295>
53. Ndekugri I., Smith N., Hughes W. The engineer under FIDIC's conditions of contract for construction. *Construction Management and Economics*. 2001. Vol. 19, No. 8. P. 791–799. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446190110073544>
54. Jaeger G. S., Hök G. S. *FIDIC-A Guide for Practitioners*. Berlin: Springer-Verlag, 2010. 434 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02100-8>
55. Klee L. *International Construction Contract Law*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2018. 560 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119430100>
56. Glover R., Hughes S., Thomas C. *Understanding the FIDIC Red Book: A Clause-by-Clause Commentary*. 2nd ed. London: Sweet & Maxwell, 2011. 592 p.
57. Hoseininia M., Peansupap V. Risk allocation in public-private partnership infrastructure projects: A comparison between FIDIC and standard domestic contracts. *Journal of Facilities Management*. 2021. Vol. 19, No. 3. P. 347–365. DOI: <https://doi.org/10.1108/JFM-08-2020-0056>
58. Uff J. *Construction Law*. 12th ed. London: Sweet & Maxwell, 2017. 672 p.
59. Wallace I. N. D. *Hudson's Building and Engineering Contracts*. 14th ed. London: Sweet & Maxwell, 2020. 1839 p.
60. O'Reilly M. *Civil Engineering Construction Contracts*. 2nd ed. London: Thomas Telford, 1999. 400 p.

61. Прав Ю. Г., Непомнящий О. М. Аналіз сучасного стану фінансування міжнародними фінансовими організаціями інвестиційних проектів в Україні. *Інвестиції: Практика та досвід*. 2016. № 19. С. 72–76. URL: http://www.investplan.com.ua/pdf/19_2016/17.pdf
62. Сухоставець Т. А. Правове регулювання забезпечення контролю якості будівництва за договорами підряду: міжнародні норми та українські реалії. *Форум права*. 2020. № 65(5). С. 24–35. https://forumprava.pp.ua/files/024-035-2020-5-FP-Sukhostavets_5.pdf
63. Приходько Д. О., Іванина О. М., Науменко К. В., Герасимчук Я. В. Роль матеріально-технічного забезпечення у промисловому будівництві. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2024. № 54 (2). С. 116–128. DOI: 10.32347/2707-501x.2024.54(2).116-128
64. Командиров О. В. Дослідження вартості послуг інженерного консультування у складі кошторисної вартості будівництва як предмета будівельно-технічної експертизи. *Криміналістика і судова експертиза*. 2024. Вип. 69. С. 525–533. DOI: 10.33994/kndise.2024.69.48
65. Knutson R. FIDIC: An Analysis of International Construction Contracts. The Hague: Kluwer Law International, 2005. 468 p. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9789041157225_A42018103/preview-9789041157225_A42018103.pdf
66. Thomas H. R., Sudhakumar P. R. Critical Analysis of Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2013. Vol. 139, No. 4. P. 423–431. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000609](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000609)
67. Hanna A. S., Taylor C. S., Sullivan K. T. Impact of Extended Overtime on Construction Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2005. Vol. 131, No. 6. P. 734–739. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:6\(734](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:6(734)
68. Goodrum P. M., Haas C. T., Glover R. W. The divergence in aggregate and activity estimates of US construction labor productivity. *Construction Management and*

Economics. 2002. Vol. 20, No. 5. P. 415–423. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446190210125572>

69. Haas C. T., Tucker R. L., Saidi K. S. The value of technology in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2000. Vol. 126, No. 4. P. 297–304. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2000\)126:4\(297](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:4(297)

70. Navon R. Automated project performance control of construction projects. *Automation in Construction*. 2005. Vol. 14, No. 4. P. 467–476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.09.006>

71. Осипов О. Ф., Осипов С. О. Основи формалізації факторів, що впливають на технологію відновлення будівельних конструкцій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2022. Вип. 50. Ч. 2. С. 12–20. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50\(2\).12-20](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50(2).12-20)

72. Приходько Д. О., Оксенчук Р. О., Ананко Є. І., Біденко Д. В. Математичне та економічне моделювання стадій, бізнес-процесів і механізмів ухвалення рішень щодо стратегічних змін у компаніях-стейкхолдерах будівельної галузі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2024. № 53 (2). С. 256–275. DOI: [10.32347/2707-501x.2024.53\(2\).256-275](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(2).256-275)

73. Тугай О., Осипов О., Ємельянова О., Демидова О. Аналітичні механізми для визначення ключових інвестиційних пріоритетів у будівельному секторі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. Вип. 55(1). С. 230–245. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(1\).230-245](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).230-245)

74. Осипов О., Ємельянова О. Інформаційні технології в управлінні комплектацією та логістикою збірного житлового будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2026. Вип. 57(2). С. 294–302. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57\(2\).294-302](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(2).294-302)

75. Малихін М. О. Особливості й передумови побудови процесів організації та адміністрування будівництвом як складової життєвого циклу.

Управління розвитком складних систем. 2025. № 63. С. 142–149. DOI: 10.32347/2412-9933.2025.63.142-149

76. Приходько Д. О., Курикін О. Ю., Шепета М. О., Кузміч Я. Л., Кузнецов О. І. Теоретичні аспекти та практичні рекомендації формування інноваційної системи будівельного підприємства. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин.* 2023. № 52 (2). С. 345–362. DOI: 10.32347/2707-501x.2023.52(2).345-362

77. Арутюнян І. А., Ажажа О. В., Кузнецов В. В., Арутюнян Є. Е. Розвиток інноваційних технологій в будівництві та цивільній інженерії в умовах цифровізації економіки України. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика.* 2024. № 25. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2024/303240>

78. Feldmann, F. G. (2022). Towards Lean Automation in Construction—Exploring Barriers to Implementing Automation in Prefabrication. *Sustainability*, 14(19), 12944. <https://doi.org/10.3390/su141912944>

79. Sychov, O., Fesun, A., Ryzhakova, G., Chupryna, Y., Rubtsova, S., & Dubyna, N. (2025). Investment support for digital construction in the context of post-war reconstruction in Ukraine. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, 5(64), 384–396

80. Тугай О.А., Ковтун М.О. Методологічні засади функціональної спеціалізації технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва. *The scientific heritage.* 2026. № 179. С. 4-8. DOI: 10.5281/zenodo.18762305. URL: <https://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2026/02/The-scientific-heritage-No-179-179-2026.pdf>

81. Л.І. Рисухін. Довідковий посібник інженера технічного нагляду за будівництвом об'єктів архітектури. Київ, 2018, 183 с

82. Олійник, В., Конончук, Р., Кобельчук, О., Тугай, А., та Дубинка, О. (2025). Оптимізація будівельного процесу за допомогою цифровізації: тематичні дослідження проектів в умовах нестабільного постачання ресурсів. *Архітектурні дослідження*, 11(1), 92-105. <https://doi.org/10.56318/as/1.2025.92>

83. Luna Alexander. Technical Supervision Frameworks: Developing Frameworks for Technical Supervision in Large-Scale Industrial Construction Projects/ ResearchGate. 2025. July. 15 p.
84. Kim, Chang-Won, Wi Sung Yoo, Junghoon Seo, Byoung gun Kim, and Hyunsu Lim. 2024. "A Roadmap for Applying Digital Technology to Improve the Efficiency of Construction Supervision in Building Projects: Focusing on Korean Cases" *Buildings* 14, no. 1: 75. <https://doi.org/10.3390/buildings14010075>
85. International Building Code 2024. Country Club Hills, IL : International Code Council, 2023. 1004 p.
86. Сиволап Ю.В. Економіко-правові аспекти здійснення технічного нагляду за будівництвом в Україні. *Матеріали доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу»* 4-5 листопада 2021 року, м. Київ С. 46-50
87. Жван В.В., Юр'єва С.Ю., Железнякова І.Л. Економічні аспекти авторського та технічного нагляду за будівництвом. *Науковий вісник Херсонського державного університету*, Випуск 15. Частина 4. 2015, С 62-65
88. Тугай О.А., Ковтун М.О. Деякі організаційні аспекти здійснення технічного нагляду за будівництвом об'єктів архітектури. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2024. № 45. С. 364–370. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i45.41> URL: <https://budres.org/index.php/budres/article/view/606/613>
89. FIDIC Definition of services guidelines. Building construction», 2009
90. Gujarati D. N., Porter D. C. *Basic Econometrics*. 5th ed. New York : McGraw-Hill Irwin, 2009. 922 p.
91. Wooldridge J. M. *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. 6th ed. Boston : Cengage Learning, 2016. 816 p.
92. Лук'яненко І. Г., Краснікова Л. І. Економетрика : підручник. Київ : Знання, 1998. 494 с.
93. Наконечний С. І., Терещенко Т. О., Романюк Т. П. Економетрія : підручник. 3-тє вид., доп. Київ : КНЕУ, 2004. 520 с.

94. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник / А. Л. Литвинов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с
95. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: Практикум. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 307 с
96. Арутюнян І. А., Пастухова С. В., Милета К. Є., Пастухов В. О. Роль математичної моделі комплексної оцінки сумісності поєднання будівельних процесів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. № 53(1). С. 131–141. DOI: 10.32347/2707-501x.2024.53(1).131-141
97. Лащівський В. В., Івлєва Н. П., Терещенко Л. В., Макаренко Р. М. Аналіз факторів, що мають вплив на складність інжинірингових послуг. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2025. № 47. С. 486–491. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i47.59>
98. Тугай О.А., Ковтун М.О. Кількісна оцінка впливу ускладнюючих факторів на трудомісткість здійснення технічного нагляду. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2026. № 57(2). С. 276-283. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57\(2\).276-283](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(2).276-283). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/357332/343228>
99. Тугай О.А., Ковтун М.О. Аналіз впливу повітряних загроз на здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єктів архітектури. *Будівельне виробництво*. 2025. №79. С. 29-34. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.79.29-34>. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/537/269>
100. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI : станом на 1 січ. 2025 р.
101. Про затвердження Плану реагування на надзвичайні ситуації державного рівня : Постанова Кабінету Міністрів України від 14 берез. 2018 р. № 223 : станом на 3 трав. 2023 р. Урядовий кур'єр. 2018. № 57
102. Арутюнян І. А., Васецький В. В., Журавель М. В., Шевчук Л. І. Інноваційні інструменти для удосконалення організації будівельних процесів в

умовах російської агресії. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2025. № 27. С. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2025/331433>

103. Пастухова С., Арутюнян І., Ажажа М. Удосконалення організаційно-технологічних рішень з урахуванням принципів енергоефективності та сталого розвитку в цивільному будівництві. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. № 55(2). С. 189–198. DOI: 10.32347/2707-501x.2025.55(2).189-198

104. Лащівський В. В., Терещенко Л. В. Особливості здійснення технічного нагляду за монтажем устаткування у будівництві. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2026. № 49. DOI: 10.31713/budres.v0i49.30

105. Будівництво загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів на 450 учнів у с. Чорнобаївка Білозерського району Херсонської області : тендер № UA-2021-06-11-012028-b. Prozorro : офіційний майданчик закупівель. URL: <https://prozorro.gov.ua/uk/tender/UA-2021-06-11-012028-b> (дата звернення: 21.02.2026)

106. Арутюнян І. А., Коваленко О. Оптимізація організаційних процесів у цивільному будівництві за допомогою логістичних моделей. *Мости та тунелі: теорія, дослідження практика*. 2024. № 25. С. 13-19. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2024/303286>

107. Статистика повітряних тривог в Україні : вебсайт. URL: <https://air-alarms.in.ua>

Додаток А

**Статистичні дані щодо кореляції присутності інженера технічного нагляду
та рівня дефектності будівельних процесів**

№	Об'єкт	Види робіт	Категорія робіт	Присутність ТН при виконанні робіт	Кількість браку (приписів)
1	ЖК "Атлант"	Розробка котловану	Земляні	0	1
2	ЖК "Атлант"	Доопрацювання ґрунту вручну	Земляні	1	0
3	ЖК "Атлант"	Влаштування піщаної подушки	Земляні	0	2
4	ЖК "Атлант"	Бетонна підготовка (захватка 1)	Бетонні	1	0
5	ЖК "Атлант"	Бетонна підготовка (захватка 2)	Бетонні	0	1
6	ЖК "Атлант"	Гідроізоляція під фундамент	Ізоляційні та оздоблювальні	0	2
7	ЖК "Атлант"	Армування фундаментної плити	Монолітні	1	1
8	ЖК "Атлант"	Бетонування фундаментної плити	Монолітні	1	0
9	ЖК "Атлант"	Пілони підвалу (захватка 1)	Монолітні	1	1
10	ЖК "Атлант"	Пілони підвалу (захватка 2)	Монолітні	0	6
11	ЖК "Атлант"	Стіни підвалу	Монолітні	1	0
12	ЖК "Атлант"	Перекриття підвалу	Монолітні	1	1
13	ЖК "Атлант"	Гідроізоляція стін підвалу	Ізоляційні та оздоблювальні	0	3
14	ЖК "Атлант"	Зворотня засипка пазах	Земляні	0	1

15	ЖК "Атлант"	Пілони 1-го поверху	Монолітні	1	0
16	ЖК "Атлант"	Перекриття 1-го поверху	Монолітні	0	8
17	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 1-го поверху	Монолітні	1	0
18	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 1 пов.	Загальнобудівельні	1	1
19	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 1 пов.	Загальнобудівельні	0	2
20	ЖК "Атлант"	Пілони 2-го поверху	Монолітні	0	5
21	ЖК "Атлант"	Перекриття 2-го поверху	Монолітні	1	1
22	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 2-го поверху	Монолітні	1	0
23	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 2 пов.	Загальнобудівельні	0	3
24	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 2 пов.	Загальнобудівельні	1	0
25	ЖК "Атлант"	Пілони 3-го поверху	Монолітні	1	0
26	ЖК "Атлант"	Перекриття 3-го поверху	Монолітні	0	7
27	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 3-го поверху	Монолітні	1	1
28	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 3 пов.	Загальнобудівельні	1	1
29	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 3 пов.	Загальнобудівельні	0	2
30	ЖК "Атлант"	Пілони 4-го поверху	Монолітні	1	1

31	ЖК "Атлант"	Перекрыття 4-го поверху	Монолітні	1	0
32	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 4-го поверху	Монолітні	0	4
33	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 4 пов.	Загальнобудівельні	0	3
34	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 4 пов.	Загальнобудівельні	1	0
35	ЖК "Атлант"	Пілони 5-го поверху	Монолітні	0	6
36	ЖК "Атлант"	Перекрыття 5-го поверху	Монолітні	1	1
37	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 5-го поверху	Монолітні	1	0
38	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 5 пов.	Загальнобудівельні	1	0
39	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 5 пов.	Загальнобудівельні	0	2
40	ЖК "Атлант"	Пілони 6-го поверху	Монолітні	1	0
41	ЖК "Атлант"	Перекрыття 6-го поверху	Монолітні	0	9
42	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 6-го поверху	Монолітні	1	1
43	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 6 пов.	Загальнобудівельні	1	1
44	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 6 пов.	Загальнобудівельні	1	0
45	ЖК "Атлант"	Пілони 7-го поверху	Монолітні	1	1
46	ЖК "Атлант"	Перекрыття 7-го поверху	Монолітні	1	0

47	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 7-го поверху	Монолітні	0	5
48	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 7 пов.	Загальнобудівельні	0	4
49	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 7 пов.	Загальнобудівельні	1	0
50	ЖК "Атлант"	Пілони 8-го поверху	Монолітні	0	7
51	ЖК "Атлант"	Перекриття 8-го поверху	Монолітні	1	1
52	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 8-го поверху	Монолітні	1	0
53	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 8 пов.	Загальнобудівельні	1	1
54	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 8 пов.	Загальнобудівельні	0	2
55	ЖК "Атлант"	Пілони 9-го поверху	Монолітні	1	0
56	ЖК "Атлант"	Перекриття 9-го поверху	Монолітні	1	1
57	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 9-го поверху	Монолітні	1	0
58	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 9 пов.	Загальнобудівельні	0	3
59	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 9 пов.	Загальнобудівельні	1	0
60	ЖК "Атлант"	Пілони 10-го поверху	Монолітні	1	0
61	ЖК "Атлант"	Перекриття 10-го поверху	Монолітні	0	6
62	ЖК "Атлант"	Сходовий марш 10-го поверху	Монолітні	1	1

63	ЖК "Атлант"	Кладка зовнішніх стін 10 пов.	Загальнобудівельні	1	0
64	ЖК "Атлант"	Кладка внутрішніх стін 10 пов.	Загальнобудівельні	0	2
65	ЖК "Атлант"	Парапети на покрівлі	Монолітні	1	0
66	ЖК "Атлант"	Пароізоляція покрівлі	Ізоляційні та оздоблювальні	0	1
67	ЖК "Атлант"	Утеплення покрівлі мінватою	Ізоляційні та оздоблювальні	1	0
68	ЖК "Атлант"	Похилоутворююча стяжка	Бетонні	0	2
69	ЖК "Атлант"	ПВХ мембрана (покрівля)	Ізоляційні та оздоблювальні	1	1
70	ЖК "Атлант"	Монтаж віконних блоків (1-5 пов)	Загальнобудівельні	0	3
71	ЖК "Атлант"	Монтаж віконних блоків (6-10 пов)	Загальнобудівельні	1	0
72	ЖК "Атлант"	Утеплення фасаду (північ)	Ізоляційні та оздоблювальні	1	1
73	ЖК "Атлант"	Утеплення фасаду (південь)	Ізоляційні та оздоблювальні	0	2
74	ЖК "Атлант"	Нанесення декоративної штукатурки	Ізоляційні та оздоблювальні	1	0
75	ЖК "Атлант"	Стяжка підлоги 1-3 пов.	Бетонні	0	2
76	ЖК "Атлант"	Стяжка підлоги 4-6 пов.	Бетонні	1	0
77	ЖК "Атлант"	Стяжка підлоги 7-10 пов.	Бетонні	1	1
78	ЖК "Атлант"	Штукатурка МЗК (коридори)	Ізоляційні та оздоблювальні	0	3

79	ЖК "Атлант"	Укладання плитки в МЗК	Ізоляційні та оздоблювальні	1	0
80	ЖК "Атлант"	Монтаж вхідних дверей	Загальнобудівельні	0	1

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

4. Тугай О.А., Ковтун М.О. Деякі організаційні аспекти здійснення технічного нагляду за будівництвом об'єктів архітектури. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2024. № 45. С. 364–370. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i45.41> URL: <https://budres.org/index.php/budres/article/view/606/613> *Особистий внесок здобувача: на основі порівняльного аналізу вітчизняного та європейського нормативного забезпечення сформульовано пропозиції щодо модернізації організаційних регламентів здійснення технічного нагляду.*
5. Тугай О.А., Ковтун М.О. Аналіз впливу повітряних загроз на здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єктів архітектури. *Будівельне виробництво*. 2025. №79. С. 29-34. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.79.29-34>. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/537/269> *Особистий внесок здобувача: розроблено дворівневу інженерну методику врахування форс-мажорних повітряних загроз при календарному плануванні трудомісткості та дискретності інспекційних виїздів на будівельні об'єкти.*
6. Тугай О.А., Ковтун М.О. Кількісна оцінка впливу ускладнюючих факторів на трудомісткість здійснення технічного нагляду. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2026. № 57(2). С. 276-283. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57\(2\).276-283](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(2).276-283). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/357332/343228> *Особистий внесок здобувача: обґрунтовано математичну модель розрахунку інтегрального показника складності технагляду на основі бально-вагової оцінки семи ключових організаційно-технологічних факторів будівельного проекту.*

Статті в наукових періодичних виданнях інших держав (Журнали включено до наукометричних баз: Index Copernicus, Scientific Indexing Services, Citefactor, Open Academic Journals Index Ulrichsweb, BASE)

4. Тугай О.А., Ковтун М.О. Методологічні засади функціональної спеціалізації технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва. *The scientific heritage*. 2026. № 179. С. 4-8. DOI: 10.5281/zenodo.18762305. URL: <https://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2026/02/The-scientific-heritage-No-179-179-2026.pdf> *Особистий внесок здобувача: запропоновано трьохвекторну матричну модель функціональної спеціалізації інженерів технічного нагляду в межах єдиного цифрового середовища ЄДЕССБ.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації: тези доповідей на конференціях:

7. Ковтун М.О. Деякі аспекти нормативно-правового регулювання здійснення технічного нагляду у будівництві. *Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених «BUILD-MASTER-CLASS-2023»*, 29 грудня 2023 р., м. Київ, Україна. С. 363-364. URL: https://drive.google.com/file/d/1UTz7ErwYUJnzZZ_N1TxB1cuqTCIR_mJc/view

8. Тугай О.А., Ковтун М.О. Функції особи, що здійснює технічний нагляд під час будівництва об'єктів архітектури. *Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології: Міжнародний науково-технічний форум: Програма та тези доповідей*. (15-16 листопада 2023 р., м. Київ). Київ: Видавництво Ліра-К, 2023. С. 178-179. URL: <https://drive.google.com/file/d/1MtRBPiOTuPp1zPEUphMqLQ-VLfIydXwU/view> *Особистий внесок здобувача: обґрунтовано доцільність перегляду переліку функцій особи, що здійснює технічний нагляд з врахуванням сучасних потреб галузі.*



МОН
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

просп. Повітряних Сил, 31,
м. Київ, 03037
тел.: +38 (044) 248-32-65,
e-mail: knuba@knuba.edu.ua,
web: knuba.edu.ua
ЄДРПОУ 02070909

ДОВІДКА

про впровадження у навчальний процес результатів дисертаційного дослідження
Ковтуна Михайла Олександровича

Дана довідка складена про те, що результати дисертаційної роботи аспіранта 4-го року навчання спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» **Ковтуна Михайла Олександровича** на тему: «Удосконалення організаційно-технологічних моделей здійснення технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва» були впроваджені при підготовці лекцій з дисциплін: «Спецкурс випускової кафедри», «Організація та управління будівництвом», «Інформаційне моделювання процесів організації і управління будівництвом», «Використання BIM інструментарію при плануванні та організації будівництва» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» ОПП «Промислове та цивільне будівництво», першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти.

Апробація результатів дослідження здійснювалася у 2024–2026 роках під час освітнього процесу на будівельному факультеті КНУБА шляхом використання наукових положень, висновків і рекомендацій автора при підготовці навчально-методичних матеріалів, лекційних занять, практичних завдань та кейсів.

Результати дисертації також були використані під час виконання науково-дослідних тем: «Розробка науково-технічного інструментарію для формування та реалізації внутрішньовиробничих планів діяльності будівельної організації» (номер державної реєстрації 0124U005196); «Розробка інжинірингового інструментарію для інвестиційно-будівельних проектів» (номер державної реєстрації 0124U005197); «Дослідження та розробка організаційно-технологічних рішень для зменшення негативного впливу на стан навколишнього середовища при ревіталізації території» (номер державної реєстрації 0124U005198).

У навчальний процес впроваджено розроблені автором організаційно-технологічні та методичні підходи до моделювання, контролю й оцінювання ефективності процесів технічного нагляду в будівництві. Матеріали дисертаційного дослідження використано під час висвітлення питань цифровізації інспекційної діяльності, впровадження сучасних інформаційних систем і технологій для моніторингу якості будівельних робіт, оцінювання потенціалу цифровізації служб замовника, а також підвищення надійності та конкурентоспроможності будівельного виробництва в умовах повоєнного відновлення України.

Впровадження результатів наукової роботи Ковтуна М.О. сприяло вдосконаленню методичного забезпечення навчальних дисциплін завдяки інтеграції сучасних підходів до цифровізації будівництва та застосування інноваційних організаційно-технологічних моделей технічного нагляду. Це дозволило розширити зміст підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 "Будівництво та цивільна інженерія" в частині використання інформаційних технологій для будівельного контролю. Отримані результати мають вагомое теоретичне і практичне значення для модернізації освітнього процесу, розвитку науково-дослідної діяльності та розробки нових методичних матеріалів у закладах вищої освіти.

Проректор з НМР



Андрій ШПАКОВ



Громадська організація
«АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ»
 ПРЕЗИДІЯ

02000, м. Київ 002, вул. Освіти, 4
 № 14/ 07.2026/24 від «11 червня» 2026 р.

70

т е л . +380 50 740 60
 E-mail prezidentabu@ukr.net

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів та результатів

дисертаційної роботи Ковтуна Михайла Олександровича.

Матеріали та результати, що вміщені в дисертації здобувача Ковтуна Михайла Олександровича на тему “Удосконалення організаційно-технологічних моделей здійснення технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва” знайшли своє практичне застосування та були впроваджені у діяльність Академії будівництва України.

Використання та впровадження науково-методичного підходу до визначення оптимальної чисельності та частоти виходів інженерів на об'єкт, який, на відміну від традиційного календарного планування, базується на застосуванні теорії масового обслуговування та ризик-орієнтованому економетричному моделюванні, що дозволяє мінімізувати технологічні простоя підрядника. Впровадження розроблених рекомендацій за рахунок здійснення технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва забезпечує підвищення ефективності управління будівельними процесами та є передумовою для створення техніко-економічного ефекту.

Довідка видана для пред'явлення спеціалізованій вченій раді по захисту дисертації.

Президент Академії будівництва України

доктор технічних наук, професор

Іван НАЗАРЕНКО





ВСЕУКРАЇНСЬКА ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ
 «ГІЛЬДІЯ ІНЖЕНЕРІВ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ
 ЗА БУДІВНИЦТВОМ ОБ'ЄКТІВ АРХІТЕКТУРИ»

Юридична адреса: 01133, м. Київ, бул. Лесі Українки, 26. Адреса для анушування: 02160, м. Київ, просп. Соборності, 15/17, кімн. 118, тел.: 044 294 21 94, E-mail: gildiya@gita.org.ua; gita.org.ua

від 19.03.2026 № 1903/26-1

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів

дисертаційної роботи Ковтуна Михайла Олександровича на тему
 «Удосконалення організаційно-технологічних моделей здійснення
 технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва»

Критичний аналіз дисертаційного дослідження Ковтуна Михайла Олександровича дозволив дійти висновку про те, що наукові положення, викладені в ньому є обґрунтованими та можуть бути використані у практичній діяльності інженерів технічного нагляду у будівництві.

Результати дослідження, зокрема організаційно-технологічна модель профільної спеціалізації інженерів технічного нагляду, використовуються при формуванні програм професійної підготовки та підвищення кваліфікації сертифікованих інженерів, а також під час навірацювання змін до стандартів професійної діяльності.

Окрему увагу слід звернути на запропонований алгоритм роботи інженерів технічного нагляду в екосистемі ЄДЕССБ. Запровадження даного підходу дозволить підвищити прозорість процедур технічного нагляду та якість будівництва.

Президент ГТН,
 професор, доктор наук
 з державного управління,
 Заслужений економіст України

Юрій ПРАВ



ПРЕДСТАВНИЦТВО "Б-АКТ" СПУЛКА АКЦІЙНА"

від 12.02.26 № 1627/26/1/а

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи Ковтуна Михайла Олександровича на тему «Удосконалення організаційно-технологічних моделей здійснення технічного нагляду в умовах цифровізації будівництва» пройшли успішну апробацію та впроваджені у практичну діяльність ПРЕДСТАВНИЦТВА «Б-АКТ» СПУЛКА АКЦІЙНА».

Науково-обґрунтовані рішення, запропоновані у дисертації, були застосовані під час виконання технічного нагляду за будівництвом інфраструктурних об'єктів. Математична модель оптимізації чисельності персоналу на базі теорії масового обслуговування та матриця ризик-орієнтованого технічного нагляду впроваджено в практичну діяльність компанії під час здійснення технічного нагляду на об'єктах критичної інфраструктури. Це дозволило оптимізувати штатний розклад служби технічного нагляду та усунути технологічні простой підрядних організацій.

Впровадження результатів дослідження суттєво підвищило ефективність управління процесами організації технічного нагляду на технічно та технологічно складних об'єктах.

Інтеграція запропонованих моделей з внутрішніми системами електронного документообігу та інструментами цифровізації дозволить скоротити час на підготовку звітної документації та підвищити прозорість контролю якості будівельно-монтажних робіт на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

Директор

Юрій СЕРЕДА