

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 прийматиме 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 багатовимірного регресійного аналізу та логістичного Logit-моделювання ризиків. Обґрунтовано доцільність застосування теорії масового обслуговування (СМО), зокрема переходу від одноканальної (М/М/1) до

багатоканальної моделі (M/M/n), 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 простоя 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 унеможливує 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;

- 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.