

АНОТАЦІЯ

Вахович Д. Ю. – Удосконалення організації проектування об'єктів в умовах цифровізації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Київський національний університет будівництва і архітектури. – м. Київ, 2026.

Дисертацію присвячено науково-методичному обґрунтуванню та розробленню підходів до удосконалення організації проектування об'єктів будівництва в умовах цифровізації галузі. Робота спрямована на формування сучасного організаційного інструментарію управління процесами проектування, здатного забезпечити підвищення якості проєктних рішень, ефективності взаємодії учасників проєктного процесу та адаптивності до змін середовища реалізації будівельних проєктів.

Досягнення поставленої мети передбачає розроблення методичних засад цифрової трансформації організації проектування на основі інтеграції інформаційних технологій, систем підтримки прийняття рішень і механізмів управління знаннями. Особливу увагу приділено автоматизації контролю якості проєктної документації, інтелектуалізованій верифікації проєктних рішень та формалізації професійного досвіду фахівців у єдиному цифровому середовищі.

Практична реалізація запропонованих підходів сприятиме підвищенню ефективності діяльності проєктних організацій, зниженню ризиків проєктних колізій та забезпеченню сталого розвитку будівельної галузі в умовах цифрової трансформації будівництва.

Нагальність проведення дослідження зумовлена гострою потребою у створенні механізмів масштабування ефективних проєктних методик в умовах дефіциту висококваліфікованих кадрів на тлі зростання обсягів реконструкції та відновлення об'єктів. Сучасний етап розвитку будівельної галузі вимагає переходу від

традиційних, персоналозалежних підходів до інтелектуальних систем, здатних формалізувати, накопичувати та відтворювати професійний досвід провідних інженерів.

Для розв'язання цієї проблеми в роботі обґрунтовано створення єдиного інтелектуального контуру, що забезпечує безперервність та узгодженість проєктних рішень незалежно від фізичного розташування учасників команди. Впровадження розроблених інструментів автоматизованої верифікації документації дозволяє трансформувати індивідуальні професійні знання у структуровані цифрові активи, доступні для багаторазового використання.

Запропонований цифровий інструментарій забезпечує конвергенцію стадій проєктування в єдину організаційно-інформаційну модель, функціонування якої ґрунтується на трансформації професійного досвіду фахівців у систему структурованих цифрових активів. Така архітектура організації проєктування мінімізує ймовірність виникнення системних помилок та нівелює вплив суб'єктивних чинників, забезпечуючи належний рівень безпеки об'єктів будівництва.

Поєднання формалізованих когнітивних стратегій із методами цифрового моделювання дає змогу виявляти та усувати організаційні колізії ще на етапі ескізного проєктування. Це трансформує роль інженера від виконавця рутинних операцій до фахівця, який керує високоефективними інтелектуальними системами.

Зазначений підхід підвищує конкурентоспроможність проєктних організацій, забезпечуючи реалізацію складних об'єктів із мінімальними ресурсними витратами та високим рівнем адаптивності до мінливих умов зовнішнього середовища.

У першому розділі дисертаційного дослідження представлено результати концептуально-теоретичного аналізу організації проєктування об'єктів будівництва в контексті викликів цифровізації та потреб повоєнної відбудови України. Проведено системний аналіз сучасного стану цифрової трансформації галузі, виявлено організаційні чинники, що стримують підвищення якості та продуктивності проєктного процесу, зокрема фрагментарність взаємодії учасників та дефіцит

інтелектуального капіталу. Обґрунтовано необхідність переходу від застарілих лінійних моделей проєктування до інтегрованих систем управління життєвим циклом об'єктів, що базуються на синергії сучасного цифрового інструментарію та методів штучного інтелекту.

Особливу увагу приділено критичній проблемі втрати фахових компетенцій, оскільки в умовах дефіциту кадрів на тлі зростання обсягів відбудови значний масив неоцифрованих імпліцитних напрацювань окремих спеціалістів залишається поза межами системного управління. Доведено, що формалізація цього унікального досвіду є необхідною умовою трансформації знань у масштабований цифровий актив, здатний компенсувати дефіцит кваліфікованих кадрів та забезпечити сталість інженерних рішень. Систематизовано проблемні питання галузі, визначено роль цифрових платформ як аналітичного ядра для превентивного виявлення колізій та оптимізації технічних рішень. Доведено, що успішна трансформація потребує формалізації експертного досвіду у цифрових базах знань, модернізації договірної бази та впровадження післяпроєктного аудиту. Сформульовано наукову гіпотезу, відповідно до якої перехід до превентивно керованих цифрових систем управління забезпечує мінімізацію ризиків та сталий розвиток будівництва в умовах обмежених ресурсів.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено формуванню теоретико-методичних засад організації проєктування об'єктів в умовах цифровізації, спрямованих на створення алгоритмізованої системи управління якістю. В розділі обґрунтуванні актуальність, мета та задачі дослідження. Сформульована наукова гіпотеза дослідження, яка полягає в тому, що удосконалення організації проєктування об'єктів шляхом трансформації традиційних лінійних процесів у превентивно-керовані цифрові системи управління, що базуються на формалізації та інтелектуалізації експертного досвіду, забезпечить скорочення тривалості розробки проєктної документації при необхідному рівні якості.

Доведено доцільність застосування методу аналізу ієрархій (MAI) Т. Сааті як базового інструментарію для формалізації експертних суджень, що дає змогу структурувати складні багаторівневі проблеми в умовах цифрової трансформації.

Установлено, що розробка інтегральної моделі якості проєктної документації з математичним обґрунтуванням вагових коефіцієнтів для кожної складової (блоку) якості є ключовою умовою підвищення результативності проєктування. Вагові коефіцієнти складових блоків якості мають бути різними для різних типів об'єктів, з урахуванням їх специфіки. Цей підхід забезпечує надійне підґрунтя для наскрізної верифікації параметрів якості, трансформуючи процес організації проєктування у керований алгоритм для мінімізації ризиків.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено розробленню концептуальних засад та архітектури інтелектуального інструментарію проєктування, що базується на трансформації неформалізованого експертного досвіду у масштабований цифровий актив. Обґрунтовано перехід від традиційного моніторингу геометричних параметрів об'єктів до концепції «Цифрового двійника проєктного досвіду» (ЦДПД), що дозволяє трансформувати професійні компетенції провідних фахівців у цифровий актив та забезпечити їх збереження в умовах цифровізації.

Розроблено багаторівневу архітектуру плагіну проєктного рішення (ППР), які функціонують як стратегічні модулі для динамічної конвергенції стадій проєктування та безперервної верифікації прийнятих рішень. Доведено, що інтеграція гібридних моделей штучного інтелекту через механізми ППР нівелює ефект «чорної скрині», забезпечуючи технічну точність і логічну прозорість висновків.

Запроваджено показник «Зрілості конструктиву проєктного рішення» (ЗКПР), який у поєднанні з паралельними методами моделювання дозволяє досягти збалансованості між концептуальними та деталізованими конструктивними рішеннями. Формалізація когнітивних стратегій у вигляді семантичних мереж трансформує проєктний процес із послідовності ізольованих етапів у цілісний

безперервний інтелектуальний контур, мінімізуючи системні помилки та ітераційні втрати.

Результати розділу концептуалізують нову роль інженера як стратега-архітектора інтелектуальних систем управління, що створює передумови для підвищення ефективності реалізації інвестиційно-будівельних проєктів за мінімальних ресурсних витрат.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено вдосконаленню організаційного інструментарію проєктування, спрямованого на забезпечення високої якості документації у цифровому середовищі. Розроблено комплексну інтегральну модель, яка об'єднує нормативно-регламентну валідність, техніко-операційну досконалість, споживчо-ціннісну придатність та інформаційно-цифрову зрілість, що дозволяє розглядати оцінку проєктного продукту не як фіксований показник, а як динамічну характеристику протягом життєвого циклу об'єкта.

За допомогою методу аналізу ієрархій Т. Сааті математично обґрунтовано систему диференційованих вагових коефіцієнтів для різних типів споруд, що забезпечує адаптивність критеріїв оцінювання до специфіки об'єктів та умов їх реалізації. Доведено, що застосування «Плагіна проєктного рішення» (ППР) як інструментарію багатокритеріальної оптимізації дозволяє перейти до предиктивного управління якістю, де кожна ітерація проєктних рішень проходить автоматизовану верифікацію.

Обґрунтовано стратегічну роль формалізації передпроєктного етапу через цифрові інструменти, що знижує рівень суб'єктивності під час формування вимог замовника та забезпечує фінансову обґрунтованість рішень. Розроблено науково-практичні рекомендації щодо модернізації нормативної бази, які передбачають обов'язкове використання цифрових моделей для верифікації вимог, що сприяє формуванню цілісного інтелектуального контуру управління будівельними проєктами.

Реалізація запропонованих рішень забезпечує системну цілісність інформаційного потоку від стадії задуму до експлуатації об'єкта, що суттєво підвищує ефективність проєктної діяльності у будівельній галузі.

Інноваційна сутність дослідження полягає у формуванні нового підходу до організації проєктування об'єктів будівництва в умовах цифровізації, який ґрунтується на трансформації індивідуального інженерного досвіду у структуровані цифрові активи та його інтеграції в процес прийняття проєктних рішень. Запропонований підхід передбачає перехід від традиційної моделі проєктування, що базується переважно на персональних компетенціях окремих фахівців, до цифро-орієнтованої системи управління знаннями, здатної забезпечувати накопичення, відтворення та масштабування професійного досвіду в межах єдиного інформаційного середовища.

Ключовим елементом інноваційного підходу є концепція «Цифрового двійника проєктного досвіду» (ЦДПД), яка забезпечує формалізацію когнітивних стратегій фахівців та їх використання для автоматизованої підтримки прийняття рішень, предиктивного контролю якості проєктної документації та попередження проєктних колізій на ранніх стадіях життєвого циклу об'єкта. Реалізація запропонованого підходу створює передумови для підвищення ефективності діяльності проєктних організацій, зниження впливу людського чинника та забезпечення сталого розвитку будівельної галузі в умовах цифрової трансформації та післявоєнного відновлення.

Наукова новизна полягає :

У дисертації одержані наступні наукові результати.

Вперше:

– обґрунтовано концептуальні засади організації проєктування об'єктів будівництва, що базуються на застосуванні Цифрового двійника проєктного досвіду (ЦДПД) – персоніфікованого цифрового активу проєктувальника, який акумулює оцифрований та систематизований імпліцитний (неформалізований) досвід прийняття проєктного рішення. Цей досвід відтворюється в індивідуальному інструменті

підтримки процесу проектування – плагіні проєктного рішення (ППР) з метою використання для автоматизованої підтримки прийняття рішень, предиктивного контролю якості проєктної документації та попередження проєктних колізій на ранніх стадіях проектування об'єкта.

Удосконалено:

- систематизацію організаційних чинників впливу цифровізації на якість і тривалість проєктного процесу, які включають технологічні, нормативно-правові та інституційні, економічні, кадрові та освітні, організаційно-управлінські, соціально-комунікаційні та культурні, безпекові та інфраструктурні фактори;

- процес організації проектування об'єктів будівництва на основі цифрових активів накопичення знань, проєктного досвіду та інструментів інтелектуальної підтримки прийняття рішень, що забезпечує безперервне використання накопиченого досвіду та підвищення якості проєктних рішень, що на відміну від традиційних лінійних та персоналозалежних підходів, дозволило інтегрувати прихований (імпліцитний) досвід фахівця, алгоритми прийняття рішень, граничні умови та аналіз негативних прецедентів у динамічну програмну надбудову над BIM-середовищем – плагін проєктного рішення (ППР). Процес експлуатації сформованого Цифрового двійника проєктного досвіду (ЦДПД) у межах ППР реалізовано через дворівневу алгоритмічну модель, що функціонує на основі скоординованої взаємодії індивідуальних локальних агентів штучного інтелекту та загального інтелектуального адміністратора системи конструктиву проєктного рішення, який є прототипом проєкту. Це забезпечило наскрізний механізм безперервної когнітивної валідації інженерних даних ще на етапі розробки концепції, а також налагодило предиктивний зворотний зв'язок із цифровим двійником об'єкта в режимі реального часу, мінімізуючи ризики виникнення колізій;

- модель оцінювання якості проєктної документації через перехід від статичного аналізу готових показників до моделі динамічного аудиту рішень у цифровому середовищі. Це забезпечено завдяки:

1) оцінювання якості за чотирма блоками критеріїв - нормативно-регламентної валідності, техніко-операційної досконалості, споживчо-ціннісної придатності та інформаційно-цифрової зрілості;

2) впровадженню показника «дельти якості» (ΔI), що дозволяє здійснювати моніторинг ефективності рішень у режимі реального часу та фіксувати їх стабілізацію при переході до алгоритмізованих процесів;

3) застосуванню диференційованих вагових коефіцієнтів, адаптованих до конкретних функціональних типів об'єктів будівництва, що підвищує достовірність інтегральної оцінки з урахуванням специфіки ринкових і нормативних вимог.

Набуло подальшого розвитку:

– проєктування через концептуальний перехід від традиційних паперових процедур до моделей цифрової верифікації передпроектної стадії. Обґрунтовано необхідність інституціоналізації цифрових регламентів формування вихідних даних, що забезпечує автоматизований аудит повноти та логічної несуперечливості вимог до об'єкта ще до початку розроблення проєктної документації.

Практична цінність окремих результатів підтверджується їх упровадженням у діяльність інжинірингових та проєктних компаній, зокрема:

– у діяльності компанії ПП «ВД-Будінжинірінг», що здійснює діяльність у сфері проєктування об'єктів різного призначення, було застосовано архітектуру «Цифрового двійника проєктного досвіду» (ЦДПД) та методику інтелектуальної валідації вимог замовника, що дозволило трансформувати індивідуальні знання у цифрові активи, підвищити точність планування ресурсів та мінімізувати ітераційні ризики (довідка №16 від 01.03.2026 р.);

– Всеукраїнська громадська організація «Гільдія проєктувальників у будівництві» (ВУГП), що об'єднує фахівців проєктної галузі, сприяє професійному розвитку, впровадженню стандартів та захисту інтересів інженерів-проєктувальників, інтегрувала науково-методичні напрацювання здобувача щодо створення ЦДПД та алгоритми формалізації когнітивних стратегій інженерів у внутрішні рекомендації

Гільдії для запобігання системним колізіям; окрім того, модель моніторингу якості проєктної документації та підхід до інтелектуальної валідації вимог замовника було включено до програм підвищення кваліфікації сертифікованих інженерів-проектувальників, а запропонований інструментарій предиктивного управління даними визнано перспективним галузевим стандартом для наскрізного моделювання проєктних процесів (довідка №09/1 від 13.04.2026 р.);

– ТОВ НДВТА «Стратегія регіонального розвитку», основним напрямом діяльності якої є виконання робіт із технічного обстеження будівель та споруд, проєктування, здійснення технічного нагляду, включаючи виконання функцій замовника у будівництві, проведення технічної інвентаризації будівель, надання повного спектра юридичних та інженерно-технічних послуг у сфері будівництва, отримання дозвільних документів, а також супровід при прийнятті об'єкта в експлуатацію, інтегрувало концепцію динамічного моніторингу якості проєктної документації на основі інтегральної моделі, що дозволило впровадити гібридний підхід до управління якістю, поєднуючи автоматизовану аналітику з професійним експертним досвідом; крім того, було застосовано прикладний інструментарій предиктивного управління даними для завчасної ідентифікації системних колізій та оптимізації розподілу робочого часу інженерів, наслідком чого стало зниження кількості колізій на етапі ескізного проєктування та скорочення термінів розробки документації (довідка №440/1 від 13.04.2026 р.).

Ключові слова: цифровий двійник проєктного досвіду, організація проєктування, будівництво, інформаційне моделювання, цифровізація, BIM, якість проєктної документації, ефективність, оптимізація, предиктивне моделювання, життєвий цикл об'єкт, цифрові активи, відновлення, інфраструктура.

ABSTRACT

Vakhovych D. Yu. – Improving the Organization of Object Design in the Conditions of Digitalization. – *Qualifying scientific work on the rights of manuscript.*

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Specialty 192 – Building 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 approaches aimed at improving the organization of construction project design under conditions of industry digitalization. The study is focused on forming a modern organizational toolkit for managing design processes capable of ensuring improved quality of design solutions, enhanced efficiency of interaction among project participants, and greater adaptability to changes in the environment of construction project implementation.

The achievement of the stated objective involves the development of methodological foundations for the digital transformation of design organization based on the integration of information technologies, decision-support systems, and knowledge management mechanisms. Special attention is given to the automation of quality control of project documentation, intelligent verification of design solutions, and the formalization of professional expertise within a unified digital environment.

The practical implementation of the proposed approaches will contribute to improving the efficiency of design organizations, reducing the risks of design conflicts, and ensuring the sustainable development of the construction industry under conditions of digital transformation.

The relevance of the research is driven by the urgent need to develop mechanisms for scaling effective design methodologies under conditions of a shortage of highly qualified personnel, alongside the growing scope of reconstruction and restoration of construction objects. The current stage of development of the construction industry requires a shift from

traditional, personnel-dependent approaches to intelligent systems capable of formalizing, accumulating, and reproducing the professional experience of leading engineers.

To address this challenge, the study substantiates the creation of a unified intelligent framework ensuring continuity and consistency of design solutions regardless of the physical location of project team members. The implementation of the developed tools for automated documentation verification enables the transformation of individual professional knowledge into structured digital assets available for repeated use.

The proposed digital toolkit ensures the convergence of design stages into a unified organizational and informational model, whose functioning is based on the transformation of professional expertise into a system of structured digital assets. Such an architecture of design organization minimizes the likelihood of systemic errors and mitigates the influence of subjective factors, thereby ensuring an appropriate level of safety of construction objects.

The combination of formalized cognitive strategies with digital modeling methods makes it possible to identify and eliminate organizational conflicts already at the preliminary design stage. This transforms the role of the engineer from an executor of routine tasks into a specialist managing highly efficient intelligent systems.

This approach enhances the competitiveness of design organizations, enabling the implementation of complex projects with minimal resource consumption and a high level of adaptability to changing external conditions.

In the first chapter of the dissertation research, the results of a conceptual and theoretical analysis of the organization of construction project design are presented in the context of the challenges of digitalization and the needs of Ukraine's post-war reconstruction. A systemic analysis of the current state of digital transformation in the industry has been carried out, identifying organizational factors that hinder improvements in the quality and productivity of the design process, in particular the fragmentation of interaction among participants and the shortage of intellectual capital. The necessity of transitioning from outdated linear design models to integrated systems for managing the life

cycle of construction objects is substantiated, based on the synergy of modern digital tools and artificial intelligence methods.

Particular attention is paid to the critical problem of loss of professional competencies, as under conditions of personnel shortages amid increasing reconstruction volumes, a significant body of non-digitalized implicit knowledge held by individual specialists remains outside systematic management. It is demonstrated that the formalization of this unique experience is a necessary condition for transforming knowledge into a scalable digital asset capable of compensating for the shortage of qualified personnel and ensuring the continuity of engineering solutions. The problematic issues of the industry are systematized, and the role of digital platforms as an analytical core for the early detection of conflicts and optimization of technical solutions is defined. It is proven that successful transformation requires the formalization of expert knowledge in digital knowledge bases, modernization of contractual frameworks, and the implementation of post-project audits. A scientific hypothesis is formulated, according to which the transition to preventive, digitally managed control systems ensures risk minimization and sustainable development of construction under conditions of limited resources.

The second chapter of the dissertation is devoted to the formation of theoretical and methodological foundations for the organization of object design in the context of digitalization, aimed at creating an algorithmized quality management system. This chapter substantiates the relevance, aim, and objectives of the research. The scientific hypothesis of the study is formulated, positing that improving the organization of object design by transforming traditional linear processes into preventively-controlled digital management systems based on the formalization and intellectualization of expert experience will ensure a reduction in the duration of design documentation development while maintaining the required quality level.

The expediency of applying T. Saaty's Analytic Hierarchy Process (AHP) as a foundational toolkit for the formalization of expert judgments has been proven, enabling the structuring of complex multilevel problems under the conditions of digital transformation.

It has been established that the development of an integral model for design documentation quality, with mathematical substantiation of weight coefficients for each quality component (block), is a key prerequisite for increasing design effectiveness. The weight coefficients of the constituent quality blocks must vary for different types of construction objects, taking into account their specific characteristics. This approach provides a reliable basis for the end-to-end verification of quality parameters, transforming the design organization process into a controlled algorithm to minimize risks.

The third chapter of the dissertation is devoted to the development of conceptual foundations and the architecture of intelligent design tools based on the transformation of informal expert experience into a scalable digital asset. The transition from traditional monitoring of geometric parameters of construction objects to the concept of a “Digital Twin of Design Experience” (DTDE) is substantiated, enabling the conversion of professional competencies of leading specialists into a digital asset and ensuring their preservation under conditions of digitalization.

A multi-level architecture of Design Solution Plugins (DSP) has been developed, functioning as strategic modules for the dynamic convergence of design stages and continuous verification of adopted decisions. It is demonstrated that the integration of hybrid artificial intelligence models through DSP mechanisms eliminates the “black box” effect, ensuring both technical accuracy and logical transparency of conclusions.

A “Design Solution Construct Maturity” (DSCM) indicator is introduced, which, in combination with parallel modeling methods, enables a balance between conceptual and detailed structural solutions. The formalization of cognitive strategies into semantic networks transforms the design process from a sequence of isolated stages into a unified continuous intelligent framework, minimizing systemic errors and iterative losses.

The results of the chapter conceptualize a new role of the engineer as a strategist-architect of intelligent management systems, creating prerequisites for improving the efficiency of investment and construction project implementation with minimal resource consumption.

The fourth chapter of the dissertation is devoted to the improvement of organizational tools for design, aimed at ensuring high-quality documentation in a digital environment. A comprehensive integrated model has been developed, combining normative-regulatory validity, technical-operational excellence, consumer-value suitability, and informational-digital maturity, which makes it possible to consider the assessment of a design product not as a fixed indicator but as a dynamic characteristic throughout the life cycle of the construction object.

Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) developed by T. Saaty, a system of differentiated weighting coefficients for various types of construction objects has been mathematically substantiated, ensuring the adaptability of evaluation criteria to the specific characteristics of projects and their implementation conditions. It has been demonstrated that the application of the “Design Solution Plugin” (DSP) as a multi-criteria optimization tool enables a shift toward predictive quality management, where each iteration of design decisions undergoes automated verification.

The strategic role of formalizing the pre-design stage through digital tools is substantiated, as it reduces the level of subjectivity in defining client requirements and ensures the financial justification of decisions. Scientific and practical recommendations for the modernization of the regulatory framework have been developed, which provide for the mandatory use of digital models for requirement verification, thereby forming a unified intelligent framework for construction project management.

The implementation of the proposed solutions ensures the systemic integrity of the information flow from the concept stage to the operation of the facility, significantly increasing the efficiency of design activities in the construction industry.

The innovative essence of this research lies in the formation of a novel approach to the organization of construction project design within the context of digitalization, based on the transformation of individual engineering experience into structured digital assets and their integration into the decision-making process. The proposed approach entails a transition from the traditional design model, which relies primarily on the individual

competencies of specific specialists, to a digitally-oriented knowledge management system capable of accumulating, reproducing, and scaling professional expertise within a unified information environment.

A key element of this innovative approach is the concept of the "Digital Twin of Design Experience" (DTDE), which enables the formalization of specialists' cognitive strategies and their utilization for automated decision-making support, predictive quality control of design documentation, and the prevention of design conflicts at the early stages of a facility's life cycle. Implementation of this proposed approach creates the prerequisites for increasing the efficiency of design organizations, mitigating the impact of the human factor, and ensuring the sustainable development of the construction industry in the era of digital transformation and post-war reconstruction.

Scientific Novelty is as follows:

The following scientific results have been obtained in the dissertation.

For the first time:

- the conceptual foundations for organizing the design of construction objects have been substantiated. These are based on the application of the Digital Twin of Design Experience (DTDE) — a personalized digital asset of the designer that accumulates digitized and systematized implicit (non-formalized) experience in design decision-making. This experience is reproduced within an individual design support tool, the Design Decision Plugin (DDP), aimed at automated decision-making support, predictive quality control of design documentation, and the prevention of design conflicts at the early stages of facility design.

Improved:

- the systematization of organizational factors influencing the impact of digitalization on the quality and duration of the design process. These include technological, regulatory/legal, institutional, economic, personnel/educational, organizational/managerial, socio-communicative/cultural, security-related, and infrastructural factors;

– the organization process of construction object design based on digital knowledge-accumulation assets, design experience, and intelligent decision-support tools. This ensures the continuous utilization of accumulated expertise and improves the quality of design solutions. Unlike traditional linear and personnel-dependent approaches, this allows for the integration of implicit professional experience, decision-making algorithms, boundary conditions, and the analysis of negative precedents into a dynamic software add-on for the BIM environment — the Design Decision Plugin (DDP). The operation of the developed DTDE within the DDP is implemented through a two-level algorithmic model functioning via the coordinated interaction of individual local AI agents and a general intelligent administrator of the design solution structure, which serves as the project prototype. This provides an end-to-end mechanism for continuous cognitive validation of engineering data at the conceptual development stage and establishes predictive real-time feedback with the object's digital twin, minimizing the risk of collisions.

– the quality assessment model for design documentation by transitioning from static analysis of finished metrics to a model of dynamic decision auditing within a digital environment. This is achieved through:

- 1) quality assessment based on four blocks of criteria: regulatory validity, technical/operational excellence, consumer-value suitability, and informational/digital maturity;
- 2) implementation of the "quality delta" (ΔQ) index, which allows for real-time monitoring of decision efficiency and stabilization tracking during the transition to algorithmic processes;
- 3) application of differentiated weighting coefficients adapted to specific functional types of construction objects, which increases the reliability of the integrated assessment while accounting for specific market and regulatory requirements.

Further developed:

– design practices, through a conceptual transition from traditional paper-based procedures to models of digital verification during the pre-design stage. The necessity of

institutionalizing digital regulations for generating initial data has been substantiated, ensuring an automated audit of the completeness and logical consistency of requirements for an object prior to the commencement of design documentation development.

The practical value of specific results is confirmed by their implementation in the activities of engineering and design companies, in particular:

- In the operations of the company PE 'VD-Budengineering,' which carries out activities in the field of design for various types of facilities, the architecture of the 'Digital Twin of Project Experience' (DTPE) and a methodology for intelligent validation of client requirements were applied, which allowed for the transformation of individual knowledge into digital assets, increased the accuracy of resource planning, and minimized iterative risks (Reference No. 16 dated March 1, 2026);

- The All-Ukrainian Public Organization 'Guild of Designers in Construction' (GDIC), which unites specialists in the design industry, promotes professional development, the implementation of standards, and the protection of the interests of design engineers, integrated the applicant's scientific and methodological developments regarding the creation of DTPE and algorithms for formalizing the cognitive strategies of engineers into the Guild's internal recommendations to prevent systemic collisions; furthermore, the model for monitoring the quality of design documentation and the approach to intelligent validation of client requirements were included in professional development programs for certified design engineers, and the proposed toolkit for predictive data management was recognized as a promising industry standard for end-to-end modeling of design processes (Reference No. 09/1 dated April 13, 2026);

- LLC NDRTA 'Strategy of Regional Development,' whose main activity is performing technical surveys of buildings and structures, design, technical supervision—including performing the functions of the client in construction, conducting technical inventory of buildings, providing a full range of legal and engineering-technical services in the construction sector, obtaining permits, as well as support during the commissioning of a facility—integrated the concept of dynamic monitoring of design documentation quality

based on an integral model, which allowed for the implementation of a hybrid approach to quality management, combining automated analytics with professional expert experience; furthermore, an applied toolkit for predictive data management was used for the early identification of systemic collisions and the optimization of engineers' working time allocation, which resulted in a reduction in the number of collisions at the schematic design stage and shortened the timeframes for developing documentation (Reference No. 440/1 dated April 13, 2026).

Keywords: Digital Twin of Design Experience, design process organization, digitalization, building, information modeling, BIM, design documentation quality, predictive modeling, efficiency, optimization, facility life cycle, digital assets, reconstruction, infrastructure.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, які індексуються в міжнародних наукометричних базах:

1. Вахович Д. Ю. Завдання на проєктування в сучасних умовах інвестиційно-будівельних проєктів. *Будівельне виробництво*. 2023. № 76. С. 53–56. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.76.53-56>
2. Вахович Д. Ю. Організаційне забезпечення якості проєктної документації. *Будівельне виробництво*. 2025. № 79. С. 48–52. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.79.48-52>
3. Вахович Д. Ю. Вплив цифровізації на організацію будівельного проєктування. *Дороги і мости*. 2026. Вип. 33. С. 302–310. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2026.33.302>
4. Демидова О. О., Вахович Д. Ю. Управління якістю та продуктивністю проєктної діяльності в будівництві: динамічний підхід та цифрові інструменти. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. Вип. 3(56). С. 45–53. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(3\).45-53](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).45-53) (Особистий внесок: Для

об'єктивізації процесу контролю розроблено математичну модель інтегрального показника якості I_q , що формується на основі вагових коефіцієнтів експертної валідності, операційної чистоти, цифрової повноти та багатоступінчастого коефіцієнта споживчої цінності.)

5. Демидова О. О., Вахович Д. Ю. Колізії між етапами проєктування об'єктів будівництва. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2025. № 49. С. 246–258. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i49.24> (Особистий внесок: Автор самостійно проведено комплексне дослідження природи організаційних колізій у проєктуванні та теоретично обґрунтовано концепцію «Плагіну проєктного рішення» як інноваційного цифрового активу.)

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

1. Демидова О. О., Вахович Д. Ю. Застосування критеріїв в процесі вибору замовником підрядника з розроблення проєктної документації. *Програма та тези доповідей Міжнародного науково-технічного форуму «Архітектура, дизайн та будівництво: інноваційні технології»* (15–16 листопада 2023 р., м. Київ). – Київ: Видавництво Ліра-К, 2024. С. 164. URL: <https://drive.google.com/file/d/1MtRBPiOTuPp1zPEUphMqLQ-VLflYdXwU/view>

2. Демидова О. О., Вахович Д. Ю. Аспекти організаційно-управлінських рішень проєктування об'єктів. *Програма та тези доповідей Міжнародного науково-технічного форуму «Архітектура, будівництво, дизайн : технологія, енергетика, менеджмент»* (16–17 жовтня 2024 р., м. Київ). – Київ: Видавництво Ліра-К, 2024. С. 159–160. URL: <https://drive.google.com/file/d/1b5T8Z1-5yCd-xlGAgU2PUCKB3E64vuqB/view>

3. Вахович Д. Забезпечення якості проєктної документації в будівництві. *ВМС-2024: – International Scientific-Practical Conference of young scientists «Build-Master-*

Class-2024». November 2024, Kyiv, Ukraine. С. 379-380. DOI: <https://doi.org/10.59647/978-617-520-936-3/1>

URL:<https://omp.lira-k.com.ua/catalog/view/633/1038/8573>

4. Вахович Д. Ю. Тенденції розвитку організації проектування в будівництві. *Innovation and development in world science. Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference Zurich, Switzerland*. MDPC Publishing. Zurich, Switzerland. march 29-31 2026. Р. 143-145. ISBN 978-3-954753-21-5. URL:<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2026/04/INNOVATION-AND-DEVELOPMENT-IN-WORLD-SCIENCE-29-31.03.26.pdf>

5. Демидова О. О., Кислюк Д. Я., Вахович Д. Ю. Конвергенція етапів проектування на основі цифрової трансформації досвіду фахівців будівельної галузі. *XI міжнародна науково-практична інтернет-конференція здобувачів вищої освіти та молодих учених «Інновації у будівництві»*, м. Луцьк, 14 травня 2026р. URL: <https://sites.google.com/view/iic-2026/%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8-%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B5%D0%B9?authuser=0>