DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(3).3-11

УДК: 69.003.12

Денис ДУБІНІН,
канд. техн. наук, ст.наук. співр.
ORCID: 0000-0002-2044-0631
Євгенія НОВАК
канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0000-0002-8512-6344
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВНИЦТВА

У статті розглянуто проблематику цифрової трансформації системи організації будівництва як ключового напряму підвищення ефективності та конкурентоспроможності галузі в умовах глобальних викликів і післявоєнного відновлення України. Підкреслено, що перехід до цифрової економіки вимагає не лише впровадження окремих технологічних інновацій, а й системної формалізації процесів управління, організаційних структур і механізмів взаємодії між усіма учасниками інвестиційно-будівельного циклу.

Запропоновано науково-методичний підхід до формалізації процесів цифрової трансформації, який ґрунтується на поєднанні принципів системного аналізу, інструментів кваліметрії та моделей організаційно-економічного управління. Визначено ключові напрями формалізації, серед яких: опис бізнес-процесів у цифровій формі; створення інтегрованих інформаційних середовищ; уніфікація критеріїв та показників ефективності цифрової зрілості; адаптація управлінських механізмів до умов цифрової економіки. Особливу увагу приділено використанню BIM-технологій, хмарних сервісів, автоматизованих систем управління ресурсами та цифрових платформ для прозорої взаємодії між замовниками, підрядниками, проєктними організаціями й державними регуляторами.

Розкрито методичні засади побудови факторно-критеріальної субмоделі оцінювання рівня цифрового розвитку учасників будівництва як інструменту діагностики та управління трансформаційними процесами. Аргументовано, що застосування такої субмоделі дозволяє об'єктивно оцінювати цифрову зрілість підприємств, виявляти слабкі місця у впровадженні технологій, визначати стратегічні напрями розвитку та формувати пріоритети інвестування в цифровізацію.

Практична значущість дослідження полягає у можливості використання запропонованих підходів органами державного управління, будівельними компаніями та інвесторами для підвищення прозорості управління, ефективності реалізації проєктів і забезпечення сталого розвитку будівельної сфери.

Результати дослідження сприяють поглибленню науково-методичних основ цифрової трансформації будівництва та формуванню сучасної моделі організації галузі, що відповідає вимогам цифрової економіки та викликам відбудови України.

Ключові слова: цифрова трансформація, формалізація процесів, будівництво, BIM, кваліметрія, цифрова зрілість, організація будівництва, цифрові інновації, стейкхолдери та учасники будівництва, організаційно-технологічні процеси, адміністрування будівництвом.

Вступ. Сучасна будівельна галузь перебуває на етапі глибоких змін, зумовлених впровадженням цифрових технологій, які докорінно трансформують традиційні підходи до організації будівництва. В умовах зростання складності будівельних об'єктів, багатокомпонентності проєктів, а також необхідності забезпечення високої точності, ефективності та прозорості управління, цифрова трансформація стає не просто трендом, а стратегічною необхідністю.

Формалізація процесів цифрової трансформації дозволяє систематизувати та уніфікувати підходи до впровадження цифрових інструментів, таких як BIM, ERP, PLM, IoT, штучний інтелект, хмарні сервіси тощо. Це, у свою чергу, забезпечує інтеграцію всіх учасників будівництва в єдину цифрову екосистему, сприяє автоматизації планування, моніторингу та контролю, а також підвищує адаптивність системи організації будівництва до змін у зовнішньому середовищі.

Відсутність формалізованих моделей цифрової організації будівництва ускладнює процеси стандартизації, масштабування та оцінки ефективності цифрових рішень. Тому дослідження, спрямоване на формалізацію таких процесів, є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору. Воно сприятиме розвитку методології цифрового управління будівництвом, створенню нормативної бази та впровадженню інноваційних технологій у будівельну практику.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах провідних українських і зарубіжних вчених та нормативно-правоввою базою охоплено широкий спектр аспектів організації будівництва, що мають стати основою цифрової трансформації.

Державні будівельні норми та їх адаптація до цифрових процесів формують основу практичної трансформації. Так, ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва і його публічне відтворення на профільних ресурсах забезпечують нормативно-методичну картину організації виробництва, стандартизують процеси планування й виконання робіт, що є базисом для подальшої формалізації й цифрового моделювання операцій [1; 2].

Ряд праць висвітлюють практичні й організаційні аспекти цифровізації. Так, Туровець Ю. (цифровізація надання адмінпослуг у сфері будівництва) демонструє, як е-послуги змінюють реєстрацію/дозвільні процедури, підвищуючи швидкість та прозорість операцій [3]. Касич А. О., Соколовська К. В., ОстровськийІ. А., Соколова Н. К. фіксують загальносвітові й локальні тренди цифровізації у будівництві, підкреслюючи потребу інноваційних підходів до організації праці та логістики [4; 5]. У працях Бєлєнкової О.Ю. розглядається взаємодія бізнес-наука-держава в процесі трансформації, що важливо для формування політик та стратегій цифровізації [6; 14], де увага фокусується на процесах взаємодії та адміністративних механізмах.

Монографія Зельцера Р.Я. дає комплексні моделі організації та економічної оцінки технологічних процесів, корисні при побудові формалізованих алгоритмів управління виробництвом [7], тоді як кконометричні підходи до управління фінансовою безпекою (монографія під ред. Сорокіної Л., Гойка А.) та праці Гойка А., Сорокіної Л., Скакуна В. щодо управління бізнес-процесами постачають інструментарій кількісного аналізу, важливий для верифікації моделей цифрової трансформації [9; 10].

Статті [16; 15] і подібні роботи концентруються на BIM та інформаційному моделюванні як основу для інтегрованого управління проєктами і ціноутворення — ці підходи є ядром формалізації технічних аспектів.

Дослідження щодо цифрової трансформації логістики і організаційної підтримки (Zeltser et al.) та використання UAV (Tugay et al.) показують приклади

застосування IT і цифрових датчиків/платформ у виконанні робіт і контролі якості [12; 13].

Сучасні міжнародні дослідження з критичних факторів успіху впровадження цифрових технологій (Sustainability 2023) дають емпіричну перевірку факторів прийняття технологій у будівництві, що корисно при формуванні критеріїв оцінювання в субмоделі [11].

Можна зробити висновок, що Існує міцна нормативно-практична база (ДБН) та низка емпіричних і теоретичних робіт, які висвітлюють окремі аспекти цифровізації (адмінпослуги, BIM, логістика, фінансовий контроль) [1–16]. Водночас бракує уніфікованого методологічного інструментарію, який поєднав би нормативи, технологічні рішення й кількісні економіко-організаційні методи для комплексної діагностики цифрової зрілості учасників будівництва. Існує потреба в адаптації міжнародних підходів до національного контексту, у розробці вагових процедур, індикаторів та програмного інструменту для автоматизованого оцінювання.

Оскільки критично важливими є питання стандартизації критеріїв, врахування кібербезпеки, підготовки кадрів і механізмів фінансування цифрових трансформаційних ініціатив, то снує необхідність розробки формалізованої моделі (факторно-критеріальної субмоделі), поєднуючи: (i) нормативну основу і практичні процедури ДБН\[1;2], (ii) методи кваліметрії й економетрики для побудови індикаторів і ваг [7;9;10], (iii) технологічні рішення BIM/UAV/хмарні сервіси для реалізації процесів [12;13;15;16], (iv) управлінські та інституційні аспекти впровадження цифрових послуг \[3;4;5;6;11]. Це створює підґрунтя для науково-прикладної розробки формалізованих процедур оцінки та впровадження цифрових трансформацій у будівництві.

Постановка задачі. Мета дослідження — розробити науково обґрунтовані підходи до формалізації процесів цифрової трансформації системи організації будівництва з метою підвищення ефективності управління будівельним виробництвом, забезпечення інтеграції учасників проєкту в єдине цифрове середовище, а також створення умов для автоматизації планування, моніторингу та контролю будівельних процесів на всіх етапах життєвого циклу об’єкта.

Основна частина. Аналіз сучасних підходів до цифрової трансформації будівельних процесів дозволяє сформувати типову цифрову модель організації будівництва, яка базується на розумінні організації як інтегрованої системи управління інформаційними, матеріальними, трудовими та фінансовими потоками. У цій моделі ключову роль відіграють цифрові платформи, BIM-технології, системи управління життєвим циклом будівельного об’єкта (PLM), а також інструменти штучного інтелекту та аналітики даних.

Цифрова організація будівництва передбачає створення взаємопов’язаної мережі учасників (генпідрядників, субпідрядників, постачальників, замовників, контролюючих органів), які взаємодіють через єдину цифрову екосистему. Чим складнішою є організаційно-технологічна модель об’єкта, тим більш комплексною та гнучкою має бути цифрова система управління будівництвом, здатна адаптуватися до змін у реальному часі.

Згідно з положеннями ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва», планування процесів організації будівництва здійснюється як комплекс заходів, що охоплюють усі етапи реалізації будівельного проєкту — від підготовки до завершення робіт. Основні аспекти планування включають:

1. Проєктно-технологічна документація

Планування починається з розробки проєкту організації будівництва (ПОБ) та проєкту виконання робіт (ПВР):

- ПОБ містить календарний план будівництва, відомість потреби в матеріалах, конструкціях, виробах та обладнанні з розподілом по періодах.
- ПВР деталізує технологію виконання робіт, включає графіки надходження ресурсів, руху кадрів і техніки, а також комплексні сітьові графіки [1].

2. Календарне планування

Передбачає:

- Визначення термінів виконання підготовчих і будівельних робіт.
- Узгодження дій між учасниками будівництва.
- Врахування сезонності, технологічної послідовності та можливостей механізації [2].

3. Ресурсне забезпечення

Планується:

- Забезпечення трудовими ресурсами та будівельною технікою.
- Матеріально-технічне постачання відповідно до графіків.
- Раціональна організація праці та управління виробничими процесами [1].

4. Контроль якості та безпеки

Планування включає:

- Заходи з охорони праці та промислової безпеки.
- Дотримання вимог пожежної безпеки, екологічних норм.
- Авторський та технічний нагляд за виконанням робіт [2].

5. Комплексна безпека будівництва

Передбачає:

- Захист об’єкта та прилеглої території від несприятливих природних і техногенних факторів.
- Дотримання вимог до експлуатаційної надійності конструкцій [1].

Згідно з положеннями ДБН «Організація будівельного виробництва», планування ресурсного забезпечення традиційно здійснюється на етапі розробки проектно-технологічної документації. У контексті цифрової трансформації ці процеси автоматизуються за допомогою цифрових інструментів, що дозволяють формувати та оновлювати календарні плани, графіки постачання, комплектаційні відомості, а також моделювати сценарії виконання робіт із використанням цифрових двійників будівельного процесу.

Цей підхід забезпечує системність, узгодженість і ефективність організації будівництва, дозволяючи досягти проектних показників якості, термінів і вартості.

Положення ДБН «Організація будівельного виробництва» можуть бути адаптовані до вимог цифрового середовища або цифрової екосистеми наступний чином (рис.1):

1. *Проєктно-технологічна документація → BIM-моделі та цифрові плани*

- ПОБ і ПВР трансформуються у BIM-моделі, які містять всю необхідну інформацію про об’єкт, включаючи календарні плани, обсяги робіт, потребу в ресурсах.

- Дані інтегруються в ERP-системи для управління постачанням, фінансами та кадрами.

2. Календарне планування → Цифрові графіки та сітьові моделі

- Замість статичних графіків використовуються динамічні цифрові сітьові моделі (наприклад, 4D-моделювання), які дозволяють візуалізувати послідовність робіт у часі.

- Застосування штучного інтелекту для оптимізації термінів та виявлення ризиків.

3. *Ресурсне забезпечення → Автоматизоване управління ресурсами*

- Інтеграція з PLM-системами дозволяє відстежувати життєвий цикл матеріалів, техніки та кадрів.

- Інтернет речей (IoT) забезпечує моніторинг техніки та обладнання в реальному часі.

4. Контроль якості та безпеки → Цифровий моніторинг

- Використання дронів, сенсорів та мобільних додатків для контролю якості робіт та дотримання норм безпеки.

- Цифрові журнали авторського та технічного нагляду.

5. Комплексна безпека → Цифрове моделювання ризиків

- Застосування цифрових двійників для моделювання впливу зовнішніх факторів.

- Прогнозування аварійних ситуацій за допомогою аналітики великих даних.

Цифрова трансформація дозволяє перейти від фрагментарного планування до інтегрованого управління будівництвом, де всі процеси — від проєктування до експлуатації — об'єднані в єдину цифрову екосистему.

На вході до системи надходять:

- учасники будівництва (генпідрядники, субпідрядники, постачальники, замовники),

- цифрові ресурси (матеріально-технічні, трудові, фінансові, інформаційні),

- проектно-кошторисна документація в цифровому форматі (зокрема BIM-моделі, графіки, кошториси, специфікації).

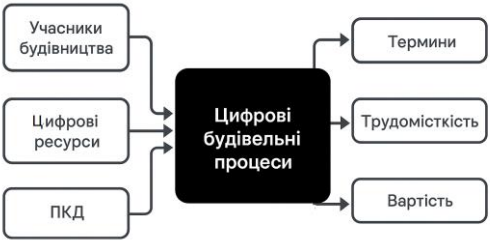

Рис.1. Концептуальна схема організація цифровізації на рівні будівельних процесів

Розроблено автором

Центральним елементом є цифрова платформа управління будівництвом, яка забезпечує:

- координацію дій між учасниками,
- обробку та аналіз даних у реальному часі,
- автоматизоване планування, моніторинг і контроль виконання робіт,
- інтеграцію з ERP, PLM, IoT-системами.

На виході система формує фактичні показники виконання будівельного процесу:

- терміни реалізації,
- трудомісткість,
- вартість будівництва,
- рівень відхилення від планових параметрів.

Концептуальна модель організації будівельних процесів, адаптована до умов цифрової трансформації представляє будівництво як систему типу «чорної скриньки», яка приймає на вході цифрові дані, обробляє їх у межах інтегрованої цифрової платформи, і формує на виході фактичні результати реалізації будівельного процесу.

Методичний підхід до цифрового організаційно-структурного забезпечення будівництва передбачає, що будівельні процеси розглядаються як «чорна скринька» в цифровому середовищі. На вході — учасники будівництва, цифрові ресурси (BIM-моделі, дані про матеріали, кадри, фінанси, інформаційні потоки), проектно-кошторисна документація в цифровому форматі. На виході — фактичні цифрові показники виконання (терміни, трудомісткість, вартість), які фіксуються та аналізуються в реальному часі за допомогою цифрових інструментів моніторингу, що дозволяє оперативно реагувати на відхилення від планових параметрів.

На рис.1 зображено календарний план виконання робіт з влаштування паль, що є одним із ключових етапів будівництва, у вигляді діаграми Ганта, яка дозволяє наочно порівняти базовий план виконання робіт із зміненим, що виник внаслідок коригування проєктно-кошторисної документації. Базовий план представлений блакитним кольором і демонструє початкові

терміни виконання кожного етапу — від підготовки майданчика до завершальної демобілізації.

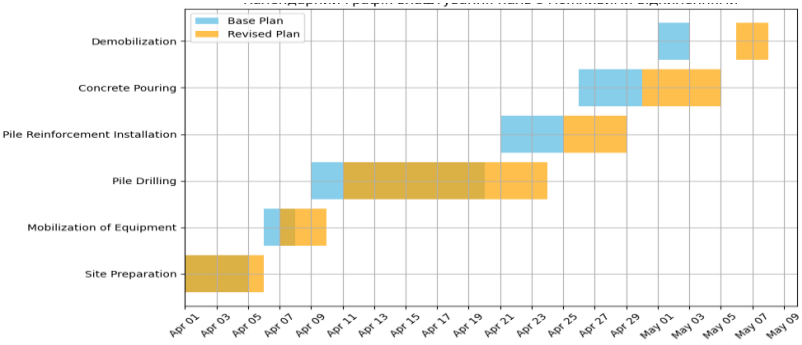

Рис.1. Відхилення термінів будівництва внаслідок коректування проєктно-кошторисної документації

Розроблено автором

Змінений план, позначений помаранчевим кольором, відображає фактичні або очікувані зміни в термінах, які виникли через уточнення технічних рішень, зміну типу паль, геологічні особливості ділянки або інші фактори, що вплинули на тривалість робіт. З графіка видно, що деякі етапи були подовжені, а їх початок і завершення зміщено, що може призвести до затримки загального терміну реалізації проєкту. Такий візуальний інструмент дозволяє оперативно оцінити вплив змін на хід будівництва, прийняти управлінські рішення щодо оптимізації ресурсів, а також обґрунтувати необхідність коригування бюджету.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що цифрова трансформація системи організації будівництва є ключовим чинником підвищення ефективності управління будівельним виробництвом в умовах сучасних викликів. Формалізація відповідних процесів дозволяє систематизувати підходи до впровадження цифрових технологій, забезпечити інтеграцію учасників будівництва в єдине інформаційне середовище та створити передумови для автоматизації планування, моніторингу і контролю на всіх етапах реалізації проєкту.

Запропонована модель організації будівельних процесів за принципом «чорної скриньки» в цифровому середовищі дозволяє розглядати будівництво як керовану систему, що реагує на змінні зовнішні та внутрішні фактори в режимі реального часу. Впровадження BIM, ERP, PLM, IoT та інших цифрових інструментів забезпечує прозорість, адаптивність і точність управлінських рішень.

Таким чином, формалізація процесів цифрової трансформації є необхідною умовою для створення сучасної, гнучкої та ефективної системи організації будівництва, здатної відповідати вимогам сталого розвитку, інноваційності та конкурентоспроможності галузі.

Список літератури:

1. ДБН А.3.1-5:2016 "Організація будівельного виробництва" №ДБН А.3.1-5:2016

2. Організація будівельного виробництва. ДБН А.3.1-5:2016 | LIGA:ZAKON1.

3. Туровець Ю. Цифровізація надання адміністративних послуг у сфері будівництва University Scientific Notes. 2021. №. 1 (79). С. 91-99.

4. Касич А. О., Соколовська К. В. Перспективи цифровізації діяльності підприємств будівельної галузі. Наукові дослідження: парадигма інноваційного розвитку: збірник тез наукових праць XII Міжнародної наукової конференції /ГО «Міжнародний науковий центр розвитку науки та технологій». Прага, 2022. С. 25-27.

5. ОстровськийІ. А., Соколова Н. К. Цифровізація будівельної галузі як світовий тренд// Актуальні питання розвитку світової економіки та міжнародного співробітництва, 2022. No 1. С. 22-24.

6. Бєлєнкова О.Ю. Цифрова трансформація будівництва: механізм взаємодії бізнесу, науки, держави. Будівельне виробництво. 2019. 66. С. 30–36.

7. Зельцер Р.Я. Інноваційні моделі і методи організації, управління і економічної оцінки технологічних процесів будівельного виробництва: монографія. Київ: «МП Леся», 2018. 208 с.

8. Кирилов І. О. Цифровізація як основа забезпечення надійності девелоперських компаній. Актуальні проблеми сучасного бізнесу: обліково-фінансовий та управлінський аспекти: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 22-23 березня 2022 р. Ч. 2. Львів: ЛНУП, 2022. С.178-179.

9. Економетричний інструментарій управління фінансовою безпекою будівельного підприємства: монографія / за наук. ред. проф. Л.В. Сорокіної, проф. А.Ф. Гойка. Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2017. 404 с.

10. Гойко А. Ф., Сорокіна Л. В., Скакун В. А. Управління бізнеспроцесами як важливий чинник підвищення якості продукції будівництва. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2018. С. 150-158.

11. Kineber, A.F.; Oke, A.; Aliu, J.; Hamed, M.M.; Oputu, E. Exploring the Adoption of Cyber (Digital) Technology for Sustainable Construction: A Structural Equation Modeling of Critical Success Factors. Sustainability 2023, 15, 5043. https://doi.org/10.3390/su15065043

12. Tugay, O.A. et al (2019). Organization of Supervision over Construction Works Using Uavs and Special Software. Nauka i innovatsii, vol. 15(4), 23-32

13. Zeltser, R. et al (2019). Digital Transformation of Resource Logistics and Organizational and Structural Support of Construction. Nauka i innovatsii, 15(5), 39-51

14. Belenkova, O. Yu. Digital transformation of construction and development of territories as an imperative for the formation of strategies of participants in the construction process. Urban planning and territorial planning, 2022. 81, 13–22.

15. Tsyfra T.Yu. BIM as a tool for reforming the pricing system (on the example of road construction enterprises in Kazakhstan). Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of the formation of market relations. 2021. No. 47 (2). P. 168-180.

16. Trach, Roman, Ryzhakova, Galyna, Kryzhanovsky, Viktor. (2017). Information modeling and integrated management of the construction projects as the basis for

innovative development of construction enterprise. Management of Development of Complex Systems, 31, 173–178.

D. Dubinin, Ye. Novak

Formalization of digital transformation processes of the construction organization system

The article considers the issues of digital transformation of the construction organization system as a key direction for increasing the efficiency and competitiveness of the industry in the context of global challenges and the post-war recovery of Ukraine. It is emphasized that the transition to a digital economy requires not only the implementation of individual technological innovations, but also the systematic formalization of management processes, organizational structures and mechanisms of interaction between all participants in the investment and construction cycle.

A scientific and methodological approach to the formalization of digital transformation processes is proposed, which is based on a combination of the principles of system analysis, qualimetry tools and models of organizational and economic management. Key areas of formalization are identified, including: description of business processes in digital form; creation of integrated information environments; unification of criteria and indicators of digital maturity efficiency; adaptation of management mechanisms to the conditions of the digital economy. Particular attention is paid to the use of BIM technologies, cloud services, automated resource management systems and digital platforms for transparent interaction between customers, contractors, project organizations and state regulators.

The methodological principles of building a factor-criteria submodel for assessing the level of digital development of construction participants as a tool for diagnosing and managing transformation processes are disclosed. It is argued that the use of such a submodel allows for an objective assessment of the digital maturity of enterprises, identifying weaknesses in the implementation of technologies, determining strategic development directions and forming priorities for investing in digitalization.

The practical significance of the study lies in the possibility of using the proposed approaches by state administration bodies, construction companies and investors to increase the transparency of management, the efficiency of project implementation and ensuring sustainable development of the construction sector.

The results of the study contribute to the deepening of the scientific and methodological foundations of the digital transformation of construction and the formation of a modern model of industry organization that meets the requirements of the digital economy and the challenges of rebuilding Ukraine.

Keywords: digital transformation, process formalization, construction, BIM, qualimetry, digital maturity, construction organization, digital innovations, construction stakeholders and participants, organizational and technological processes, construction administration.