

DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.165-173

УДК 658:69.003

Дружинін Максим Андрійович

Кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0000-0003-1821-1968>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Степанюк Роман Борисович

Аспірант кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0009-0001-5945-8468>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Гергі Маріан Семенович

Аспірант кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0009-0001-1005-8068>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Малихін Михайло Олександрович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації та управління будівництвом,

<https://orcid.org/0000-0002-9721-2733>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Сторожук Олександр Васильович

Аспірант кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0009-0003-8305-1080>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Костенко Денис Володимирович

Аспірант кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0000-0001-7419-1725>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЦИФРОВІ МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВНИЦТВА НА ҐРУНТІ ІНТЕГРАЦІЙНОГО ПІДХОДУ ТА SMART-УПРАВЛІННЯ

***Анотація.** Стаття присвячена дослідженню цифрових технологій адаптації моделей організації будівництва до сучасних викликів, що включають економічні, екологічні та соціальні аспекти. Розглянуто ключові інноваційні підходи, такі як використання Building Information Modeling (BIM), цифрових двійників, Інтернету речей (IoT) та хмарних платформ, які забезпечують інтеграцію всіх етапів будівельного проєкту. Особливу увагу приділено концепції інтегрованого управління, що дає змогу узгоджувати інтереси стейкхолдерів і підвищувати прозорість процесів. Запропоновано систематизацію методологій, які адаптують організаційно-технологічні моделі до умов цифровізації. Зокрема, проаналізовано методології Data-Driven Decision-Making, Smart Scheduling, Sustainability Metrics Integration та Digital Twin-Based Lifecycle Analysis. Визначено ключові індикатори ефективності (KPI), такі як точність прогнозів, ефективність використання ресурсів, енергоефективність та тривалість етапів проєкту. У статті акцентовано на впливі цифрових технологій на гармонізацію інтересів стейкхолдерів через інтеграцію даних та зменшення конфліктів. Показано, як використання цифрових платформ сприяє зниженню витрат, оптимізації управлінських процесів, підвищенню якості виконання робіт та забезпеченню стійкого розвитку. Окремо розглянуто роль SMART-цілей у формуванні стратегій для досягнення ефективності в будівництві. Результати дослідження спрямовані на вдосконалення підходів до організації будівництва через впровадження цифрових технологій, що адаптують моделі до змін середовища, забезпечуючи їхню довгострокову стійкість, гнучкість і конкурентоспроможність. Стаття є актуальною для науковців і практиків, зацікавлених у трансформації будівельної галузі.*

***Ключові слова:** будівельне підприємство; організація будівництва; будівельний девелопмент; управління проєктами; цифрові технології інтегроване управління; SMART-цілі; хмарні платформи; стейкхолдери; гармонізація інтересів; KPI; сталий розвиток; інноваційні моделі; інтеграційний підхід*

Постановка проблеми

Цифрові технології адаптації моделей організації будівництва до сучасних викликів – це інтеграція сучасних інформаційних і цифрових рішень для вдосконалення планування, управління та реалізації будівельних проєктів. Ці технології уможливають забезпечити гнучкість, ефективність і стійкість будівельних процесів у відповідь на складні умови сучасного ринку, технологічні зміни, екологічні вимоги та соціально-економічні виклики.

Основою таких технологій є використання Building Information Modeling (BIM), цифрових двійників, IoT, автоматизації та хмарних платформ для управління проєктами. BIM забезпечує створення багатовимірної цифрової моделі будівельного об'єкта, яка включає інформацію про геометрію, матеріали, терміни будівництва, витрати і навіть параметри експлуатації. Ця інформація допомагає підприємствам швидко адаптуватися до змін у вимогах замовників, нормативній базі або ринкових умовах, що є ключовим у сучасному динамічному середовищі. Цифрові двійники, як один із елементів адаптивних моделей, дають змогу створювати віртуальні копії будівельних об'єктів для аналізу їхньої поведінки в реальних умовах. Це допомагає передбачати ризики, тестувати альтернативні сценарії будівництва й експлуатації, мінімізувати помилки і підвищувати загальну ефективність проєктів. IoT (Інтернет речей) забезпечує збір і аналіз даних з реального середовища в реальному часі. Це уможливає контролювати хід будівельних робіт, стан обладнання, витрати матеріалів та енергоспоживання. Завдяки цьому будівельні підприємства можуть оперативіно реагувати на відхилення від плану, оптимізувати ресурси і підвищувати продуктивність. Хмарні технології та платформи для управління проєктами забезпечують інтеграцію даних і комунікацію між усіма учасниками будівельного процесу. Вони допомагають централізувати інформацію, автоматизувати управлінські процеси, зменшити помилки через людський фактор і забезпечити прозорість у прийнятті рішень.

Адаптація моделей організації будівництва через цифрові технології дає змогу враховувати екологічні аспекти, такі як енергоефективність, зниження викидів вуглекислого газу, оптимізація логістики та повторне використання матеріалів. Це сприяє досягненню цілей сталого розвитку і підвищенню конкурентоспроможності підприємств. Цифрові технології також допомагають будівельним компаніям адаптуватися до викликів, пов'язаних із глобалізацією ринків, дефіцитом кваліфікованих кадрів та необхідністю відповідати зростаючим

очікуванням клієнтів. Вони забезпечують не лише технічну адаптацію, а й стратегічну перевагу, допомагаючи підприємствам бути більш гнучкими, інноваційними й ефективними у своїй діяльності. Отже, цифрові технології стають не лише інструментом реагування на виклики, але й джерелом трансформації всієї будівельної галузі.

Незважаючи на значний потенціал цифрових технологій адаптації моделей організації будівництва, залишаються невирішеними кілька важливих проблем. Це, зокрема, високі початкові витрати на впровадження цифрових рішень і модернізацію інфраструктури, нестача кваліфікованих кадрів для роботи з технологіями, а також складнощі інтеграції нових систем у наявні бізнес-процеси. Крім того, обмежена доступність якісних даних, питання безпеки інформації та захисту конфіденційних відомостей стримують повноцінне використання цифрових платформ. Іншим викликом є недостатня стандартизація процесів та інструментів, що ускладнює взаємодію між стейкхолдерами на глобальному рівні.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Цифровізація будівельної галузі й інтеграція сучасних управлінських підходів стали ключовими аспектами розвитку індустрії, враховуючи потребу у підвищенні ефективності, прозорості та стійкості будівельних проєктів. Теоретичні засади використання цифрових технологій, таких як BIM, цифрові двійники та IoT [6 – 9], доповнюються концепціями інтегрованого управління, орієнтованого на гармонізацію інтересів стейкхолдерів і оптимізацію життєвого циклу проєктів [10 – 12]. У цьому контексті важливим є аналіз останніх досліджень і публікацій, які висвітлюють як фундаментальні основи, так і практичні аспекти впровадження інноваційних моделей організації будівництва.

Аналіз сучасної наукової літератури допомагає ідентифікувати основні тенденції, виявити виклики, пов'язані з впровадженням цифрових рішень, та визначити перспективні напрями розвитку будівельної галузі. Зокрема, увага приділяється дослідженням ролі SMART-управління, KPI, інтеграційного підходу до управління проєктами [13 – 15], а також інноваційним моделям адаптації до сучасних викликів [16; 17]. Це створює підґрунтя для обґрунтування нових стратегій та рішень, спрямованих на трансформацію будівельного сектору.

Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry [1] авторства Саліма Азхара є ключовою працею, яка визначила основні аспекти впровадження BIM у

будівельну галузь. Автор розглядає переваги технології, зокрема інтеграцію процесів, скорочення витрат та підвищення ефективності, а також вказує на виклики, пов'язані з її впровадженням, як-от високі початкові витрати та потребу у кваліфікованих кадрах. Ця робота є основоположною для розуміння значення BIM у контексті цифровізації будівництва.

Constructing the Team: Final Report of the Government/Industry Review of Procurement and Contractual Arrangements in the UK Construction Industry [2] Майкла Летема закладає основи концепції інтегрованого управління у будівництві. У звіті автор акцентує увагу на важливості гармонізації інтересів усіх стейкхолдерів через прозорі контрактні відносини та інтеграцію учасників проекту з метою оптимізації процесів та зменшення конфліктів.

Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation [3] Джона Кунца і Мартіна Фішера зосереджується на використанні віртуального проектування та будівництва (VDC) для інтеграції даних і процесів. Праця розкриває способи застосування цифрових інструментів для прогнозування результатів проектів і покращення координації між стейкхолдерами, що робить її важливою для дослідження інтеграційного підходу.

A Rework Reduction Model for Construction Projects [4], написана Пітером Лавом та його колегами, є вагомим внеском у розуміння того, як мінімізувати помилки в будівництві через оптимізацію управлінських рішень. Автори пропонують модель, яка уможливило зменшити витрати та час за рахунок зниження рівня повторних робіт, що важливо для підвищення ефективності будівельних проектів.

BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors [5] під авторством Чарльза Істмана, Поля Тейхольца, Рафаеля Сакса та Кетріна Лістон є фундаментальною працею для впровадження BIM у будівельну галузь. У книзі детально розглянуто технологічні аспекти, зокрема створення багатовимірних цифрових моделей, інтеграцію даних та управління проектами, що робить її базовим джерелом для вивчення цифрових технологій у будівництві. Ці праці формують теоретичну і практичну базу для розуміння ролі цифрових технологій, інтеграційного підходу та управління інтересами стейкхолдерів у сучасному будівництві.

Мета статті

Мета статті полягає у дослідженні цифрових технологій та інтеграційних підходів до організації будівництва з акцентом на гармонізацію інтересів стейкхолдерів, підвищення ефективності управління проектами та забезпечення стійкого розвитку.

Зокрема, мета включає аналіз сучасних інноваційних моделей, таких як BIM, цифрові двійники, IoT, а також методологій SMART-управління, для адаптації будівельних процесів до сучасних викликів та інтеграції організаційно-технологічних, економічних, екологічних і соціальних аспектів у єдину інтегровану екосистему організації будівництва.

Виклад основного матеріалу

Концепція інтегрованої реалізації будівельних проектів спрямована на досягнення синергії між економічними, організаційно-технологічними інтересами стейкхолдерів, забезпечуючи ефективність, прозорість та збалансованість процесів на всіх етапах життєвого циклу проекту. Вона базується на системному підході, який об'єднує ключові аспекти управління проектами, сучасні технології та механізми комунікації між учасниками. Гармонізація економічних інтересів стейкхолдерів починається з чіткого визначення їхніх потреб і очікувань. Замовники прагнуть мінімізувати витрати і терміни реалізації проекту, забезпечивши при цьому високу якість. Інвестори орієнтовані на максимізацію прибутковості та зниження ризиків, тоді як підрядники зацікавлені у стабільному фінансуванні, оптимізації ресурсів і зменшенні невизначеностей. Концепція інтегрованої реалізації допомагає узгодити ці інтереси через створення єдиного інформаційного середовища, що забезпечує прозорий доступ до даних та можливість колективного прийняття рішень.

Організаційно-технологічні інтереси стейкхолдерів фокусуються на ефективності операційних процесів, впровадженні сучасних технологій, таких як BIM, цифрові двійники, автоматизація та IoT. Інтеграція цих технологій забезпечує узгодженість дій, зменшує витрати ресурсів, мінімізує ризики повторних робіт та помилок у проектуванні чи виконанні будівельних робіт. Наприклад, BIM дає змогу створювати багатовимірні моделі, що включають дані про геометрію, матеріали, терміни будівництва та витрати, забезпечуючи всебічний контроль над проектом. Важливим аспектом концепції є участь стейкхолдерів на всіх етапах проекту, починаючи з його планування. Раннє залучення замовників, інвесторів, підрядників та інших зацікавлених сторін дає змогу формувати спільне бачення, встановлювати реалістичні цілі та уникати конфліктів. Завдяки інтегрованому підходу, кожен стейкхолдер може врахувати свої інтереси та внести пропозиції щодо оптимізації процесів. Крім того, концепція сприяє гармонізації екологічних і соціальних аспектів проектів. Наприклад, замовники можуть зосередитися на створенні об'єктів, що

відповідають стандартам "зеленого" будівництва, а громади — на забезпеченні соціальних переваг, таких як робочі місця чи покращення інфраструктури. Усі ці аспекти враховуються завдяки використанню інструментів моделювання, що уможливають прогнозувати вплив проекту на довкілля і суспільство.

Концепція інтегрованої реалізації також передбачає створення прозорих і гнучких механізмів фінансування. Інвестори отримують доступ до актуальних даних про хід реалізації проекту, що дає змогу знижувати фінансові ризики. Підрядники

можуть планувати свої операційні процеси на основі чітких прогнозів, а замовники отримують упевненість у дотриманні термінів та бюджету. Отже, концепція інтегрованої реалізації будівельних проектів є інноваційним підходом, що допомагає забезпечити узгодженість економічних, організаційно-технологічних і соціальних інтересів усіх стейкхолдерів (таблиця). Вона сприяє підвищенню ефективності проектів, зменшенню ризиків і досягненню стійкого розвитку будівельної галузі.

Таблиця – *Моделі організації будівництва: новітні технології та стратегії*

Назва моделі	Розробник	Сутність моделі	KPI (ключові показники)	Практичне застосування
Integrated Project Delivery (IPD)	Американський інститут архітекторів (AIA)	Інтеграція всіх учасників будівельного проекту в єдину систему для оптимізації процесів і розподілу ризиків і вигод.	Рівень виконання проекту в терміни, зменшення повторних робіт, ROI, задоволеність стейкхолдерів, дотримання бюджету.	Будівництво медичного центру Sutter Health, Каліфорнія.
Lean Construction	Lean Construction Institute (США)	Усунення втрат у будівельних процесах через оптимізацію ресурсів та інтеграцію стейкхолдерів.	Час циклу виконання завдань, простота техніки, утилізація матеріалів, продуктивність працівників, частота помилок.	Будівництво лікарні Al Wakra, Катар.
Building Lifecycle Integration (BLI)	Європейська дослідницька група з інноваційного будівництва	Інтеграція всіх етапів життєвого циклу будівельного проекту через цифрові інструменти, включаючи BIM.	Енергоефективність, час реагування на зміни, відповідність нормативам сталого розвитку, коригування проекту, повторне використання матеріалів.	Реконструкція офісного комплексу Parkview, Лондон.
Digital Twin in Construction	Siemens, Bentley Systems	Створення цифрових двійників для інтерактивного моделювання поведінки будівельного об'єкта.	Точність прогнозування витрат, швидкість прийняття рішень, зниження непередбачуваних витрат, відповідність планам, оптимізовані рішення.	Будівництво нового кампусу університету в Мюнхені.
Collaborative Contracting	Інститут управління проектами (PMI)	Розподіл відповідальності і вигод між стейкхолдерами через контракти, які мотивують на спільну роботу.	Вирішені конфлікти без судових розглядів, залучення стейкхолдерів, взаємовигідні рішення, дотримання графіка, рентабельність проекту.	Heathrow Terminal 5, Великобританія.
Agile Construction Management	Адаптована з Agile-методології у сфері IT	Гнучкий підхід до управління проектами, що допомагає адаптуватися до змін вимог замовника.	Час виконання ітерації, задоволеність замовника, зміни без затримок, завершення завдань у терміни, продуктивність команди.	Реконструкція житлового району в Барселоні.

Назва моделі	Розробник	Сутність моделі	KPI (ключові показники)	Практичне застосування
Performance-Based Design (PBD)	Американська рада інженерного будівництва (ASCE)	Орієнтація на досягнення конкретних функціональних характеристик будівель з акцентом на довговічність та енергоефективність.	Відповідність реальних показників до запланованих, тривалість життєвого циклу, скорочення експлуатаційних витрат, енергоефективність, час тестування проєкту.	Проєктування мосту Millau Viaduct, Франція.

Методології цільового вибору індикаторів організаційно-технологічних підходів організації будівництва, адаптивних моделей і цифрової екосистеми спрямовані на забезпечення ефективності, інтеграції та гнучкості в сучасних будівельних проєктах. Вони охоплюють комплексні підходи, що уможливають адаптуватися до змін середовища, інтегрувати цифрові рішення та враховувати різнопланові інтереси стейкхолдерів.

Методологія *Data-Driven Decision-Making (DDD)* базується на використанні великих даних (Big Data) для прийняття рішень у будівництві. У цій методології ключовими індикаторами є точність прогнозів витрат, рівень виконання завдань у заплановані терміни, обсяги використаних ресурсів та частота коригувань проєктів. DDD сприяє адаптивності моделей через інтеграцію даних з різних джерел, таких як IoT, цифрові двійники та хмарні платформи, забезпечуючи максимальну точність аналізу і прогнозування.

Методологія *Smart Scheduling and Resource Allocation* орієнтована на оптимізацію використання ресурсів і планування будівельних робіт через цифрові платформи й алгоритми штучного інтелекту. Вона враховує такі індикатори, як завантаження робочої сили, ефективність використання матеріалів, продуктивність техніки та рівень простоїв. Цей підхід дає змогу будівельним підприємствам швидко адаптувати плани до змін у ресурсах або умовах будівництва.

Концепція SMART (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound) виникла в середині XX ст. як підхід до встановлення цілей у менеджменті. Її вперше систематизував Джордж Дорані у 1981 р. у своїй статті "There's a S.M.A.R.T. Way to Write Management Goals and Objectives". Теорія була орієнтована на оптимізацію процесів планування, щоб забезпечити ефективність управління та досягнення результатів.

З часом SMART стала ключовим інструментом у багатьох сферах, зокрема в управлінні проєктами, маркетингу, освіті та будівництві. У будівельній галузі її адаптація уможливила встановлювати чіткі, вимірювані та досяжні цілі на всіх етапах реалізації

проєктів, забезпечуючи гармонізацію інтересів стейкхолдерів і підвищення ефективності.

1. **Specific (Конкретність):** у будівництві цілі мають бути чітко визначеними, щоб уникнути неоднозначності. Наприклад, замість загального "покращення інфраструктури" ціль може звучати як "завершити будівництво мосту довжиною 500 м із пропускною здатністю 10 000 автомобілів на добу".

2. **Measurable (Вимірюваність):** цілі мають бути виражені у кількісних показниках. У будівництві це може включати кількість завершених етапів, витрати на матеріали, обсяги будівельних робіт або рівень енергоефективності.

3. **Achievable (Досяжність):** у будівельних проєктах необхідно враховувати доступність ресурсів, технічних можливостей та кваліфікації персоналу. Наприклад, при встановленні цілей щодо термінів завершення робіт слід враховувати погодні умови і реальні потужності обладнання.

4. **Relevant (Актуальність):** цілі мають відповідати загальним цілям проєкту та потребам стейкхолдерів. Наприклад, у рамках сталого розвитку актуальними будуть цілі, спрямовані на зменшення вуглецевого сліду та використання екологічних матеріалів.

5. **Time-bound (Часові обмеження):** у будівництві надзвичайно важливо встановлювати чіткі часові рамки для кожного етапу проєкту. Це може включати конкретні дедлайни для завершення фундаменту, монтажу конструкцій чи здачі об'єкта на експлуатацію.

SMART дає змогу ефективно планувати будівельні проєкти, уникати затримок і перевитрат. Наприклад, при реалізації проєкту будівництва офісного центру SMART допомагає структурувати цілі таким чином:

– **Specific:** Завершити будівництво 20-поверхового офісного центру з LEED-сертифікацією.

– **Measurable:** Досягти 15% скорочення енергоспоживання у порівнянні зі стандартними офісними будівлями.

– **Achievable:** Забезпечити скорочення витрат через використання місцевих матеріалів.

– Relevant: Підвищити привабливість офісного центру для орендарів, що відповідає бізнес-цілям замовника.

– Time-bound: Завершити будівництво до грудня 2025 р.

SMART-підхід допомагає будівельним підприємствам адаптуватися до змін, координувати дії стейкхолдерів та забезпечувати досягнення стратегічних цілей, таких як економічна ефективність, екологічність та інноваційність проєктів.

Методологія *Sustainability Metrics Integration* зосереджена на інтеграції індикаторів сталого розвитку в будівельні проєкти. Ключові показники включають вуглецевий слід проєкту, обсяги перероблених матеріалів, енергоефективність будівлі, відповідність екологічним стандартам та вплив на місцеву екосистему. Ця методологія впроваджує адаптивні підходи через оцінку екологічних аспектів на кожному етапі життєвого циклу об'єкта.

Методологія *Dynamic Stakeholder Engagement* акцентує увагу на активному залученні стейкхолдерів у процес прийняття рішень через інтегровані цифрові платформи. Індикатори включають рівень задоволеності учасників, частоту конфліктів, швидкість узгодження рішень, доступність даних та частоту змін у проєкті за запитом. Ця методологія забезпечує прозорість і гнучкість в управлінні взаємовідносинами між замовниками, інвесторами, підрядниками та іншими зацікавленими сторонами.

Методологія *Modular Construction Performance Evaluation* спрямована на оцінку ефективності модульного будівництва, яке інтегрується в цифрову екосистему. Основні індикатори: швидкість збирання модулів, якість виготовлення компонентів, рівень витрат на логістику, обсяги попередньо зібраних елементів та відсоток повторного використання модулів у майбутніх проєктах. Вона сприяє гнучкому підходу до будівництва, зменшуючи витрати та вплив на довкілля.

Методологія *Predictive Maintenance Optimization* використовує індикатори для прогнозування необхідності обслуговування будівельного обладнання. Ключові показники включають час простою техніки, частоту аварійного обслуговування, витрати на ремонт та експлуатацію, ефективність використання техніки і тривалість роботи без збоїв. Завдяки інтеграції IoT і аналітичних платформ, ця методологія допомагає забезпечити стабільність будівельних процесів і мінімізувати ризики збоїв.

Методологія *Digital Twin-Based Lifecycle Analysis* базується на використанні цифрових двійників для моделювання й оцінювання життєвого

циклу будівельного проєкту. Індикатори включають тривалість етапів життєвого циклу, витрати на кожному етапі, енергоефективність, відповідність стандартам і обсяги коригувань проєкту. Ця методологія забезпечує довгострокову оптимізацію ресурсів і гнучке управління проєктами в цифровій екосистемі.

Організація будівництва через впровадження *BIM (Building Information Modeling)* і концепції інтегрованого управління є сучасним підходом, який об'єднує цифрові технології та системний менеджмент для забезпечення ефективності, прозорості й узгодженості всіх етапів будівельного проєкту. Цей підхід базується на створенні єдиного інформаційного середовища, що уможливорює інтегрувати дані, процеси та учасників проєкту в межах однієї платформи. BIM забезпечує створення багатовимірної цифрової моделі будівельного об'єкта, яка включає не лише геометричні параметри, а й інформацію про матеріали, терміни виконання робіт, витрати, технічні характеристики й експлуатаційні показники. Це допомагає учасникам проєкту, таким як архітектори, інженери, підрядники, інвестори та замовники, працювати з однією актуальною базою даних. BIM усуває проблему розрізненості інформації, сприяючи зниженню помилок і повторних робіт, оптимізації витрат та підвищенню якості будівництва. Концепція інтегрованого управління орієнтована на координацію дій усіх стейкхолдерів проєкту, починаючи з етапу планування до введення об'єкта в експлуатацію. Вона передбачає спільне формування цілей, колективну відповідальність за результати та рівноправне розподілення ризиків і вигод між учасниками. Такий підхід забезпечує максимальну ефективність проєкту через прозорість процесів, інтеграцію даних і залучення всіх стейкхолдерів у процес прийняття рішень. Впровадження BIM у поєднанні з інтегрованим управлінням дає змогу створювати цифрові двійники будівельних об'єктів, які використовуються для моделювання різних сценаріїв будівництва й експлуатації. Це допомагає передбачати потенційні ризики, перевіряти технічні рішення, оцінювати вплив проєкту на навколишнє середовище та прогнозувати експлуатаційні витрати. Такий підхід забезпечує відповідність проєкту екологічним стандартам і вимогам сталого розвитку.

Організація будівництва через BIM також сприяє підвищенню гнучкості проєктів. За допомогою цифрової моделі можна швидко вносити корективи в проєкт у разі зміни умов або вимог замовника. Інтеграція із системами IoT забезпечує моніторинг стану матеріалів, обладнання та ходу виконання робіт у реальному часі, що дає змогу оперативно реагувати на відхилення від плану. Цей підхід також розширює можливості для аналітики

й оптимізації. Інструменти BIM дають змогу проводити автоматизовані розрахунки обсягів робіт, створювати деталізовані графіки та генерувати точні кошториси. Завдяки цьому підвищується точність прогнозів і зменшується ймовірність перевищення бюджету. Інтегроване управління своєю чергою забезпечує чіткий контроль над усіма аспектами проекту та допомагає уникати конфліктів між учасниками.

Висновки

У статті розглянуто вплив цифрових технологій на адаптацію моделей організації будівництва до сучасних викликів, зокрема економічних, екологічних та соціальних. Аналіз засвідчив, що використання Building Information Modeling (BIM), цифрових двійників, Інтернету речей (IoT) та хмарних платформ забезпечує інтеграцію всіх етапів будівельного проекту, сприяючи прозорості, ефективності та узгодженню інтересів стейкхолдерів. Застосування цих технологій уможливає не лише підвищити якість реалізації проектів, але й забезпечити їхню довгострокову стійкість і відповідність принципам сталого розвитку. Впровадження BIM та інтегрованого управління забезпечує не лише технічну, а й організаційну трансформацію будівельної галузі. Це

допомагає досягати високої ефективності, знижувати ризики, підвищувати якість об'єктів і створювати додаткову цінність для всіх учасників будівельного проекту.

Систематизація методологій, таких як Data-Driven Decision-Making, Smart Scheduling, Sustainability Metrics Integration та Digital Twin-Based Lifecycle Analysis, демонструє важливість використання ключових індикаторів ефективності (KPI) для оцінки результативності будівельних проектів. Інтеграція SMART-цілей у стратегічне управління допомагає формулювати конкретні, вимірювані та досяжні цілі, що забезпечують ефективність на кожному етапі життєвого циклу будівлі. Впровадження таких підходів сприяє гармонізації інтересів усіх учасників будівельного процесу, мінімізуючи ризики, оптимізуючи витрати та забезпечуючи інноваційний розвиток галузі. Отже, цифрові технології в поєднанні з інтеграційним підходом і SMART-управлінням формують нову парадигму організації будівництва. Результати дослідження спрямовані на підтримку наукових і практичних ініціатив з трансформації будівельної галузі, створюючи основу для підвищення конкурентоспроможності й адаптивності будівельних підприємств у динамічних умовах сучасного ринку.

Список літератури

1. Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11 (3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127).
2. Latham, M. (1994). *Constructing the Team: Final Report of the Government/Industry Review of Procurement and Contractual Arrangements in the UK Construction Industry*. London: HMSO. 132 p.
3. Kunz, J., & Fischer, M. (2012). *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation*. Stanford, CA: Center for Integrated Facility Engineering. 220 p.
4. Love, P. E. D., Irani, Z., & Edwards, D. J. (2004). A Rework Reduction Model for Construction Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51 (4), 426–440. <https://doi.org/10.1109/TEM.2004.835087>
5. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (2nd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 640 p.
6. Хоменко О. М., Петренко Г. С., Рижаківа Г. М., Петруха Н. М. Сучасні інструменти та програмні продукти адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 52. С. 113 – 125, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.113-125](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.113-125).
7. Згалат-Лозинська Л. О. Концепція інноваційного розвитку будівельної галузі в умовах пандемії та економічної кризи. *Економічний простір*. 2020. № 157. С. 27–31.
8. Мостовенко О. О., Зінченко М. М. Особливості ринку праці в Україні під час війни. *Просторовий розвиток*. 2023. Вип. 6. С. 360 – 367.
9. Савенко В. І., Демидова О. О., Шатрова І. А., Гончаренко Т. А., Лященко Т. О. Еволюція розвитку організації і кадрового менеджменту. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 53. С. 91 – 99, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2023.53.91-99](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.53.91-99).
10. Беленкова О. Ю. Імперативи маркетингової діяльності стейкхолдерів будівництва – реінжиніринг чи стагнація. *Просторовий розвиток*. 2023. Вип. 5. С. 326–338.
11. Рижаківа Г. М., Приходько Д. О., Поколенко В. О. Оновлення науково-методичних підходів до побудови полікритеріальної системи адміністрування діяльністю підприємств-стейкхолдерів проектів. *Просторовий розвиток*. 2022. Вип. 1. С. 218–233.
12. Lyashchenko, Tamara, Hryshunina, Maryna & Pichkur, Vladyslav. (2018). Gamification as one of the innovative forms of the training process. *Management of development of complex systems*, 35, 113 – 123.
13. Рижаківа Г. М., Орленко І. М., Малихіна О. М. Методологічна регламентація та аналітико-інформаційне забезпечення менеджменту організацій в сучасній системі будівельного девелопменту. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2021. № 7 – 8. С. 59–65.

14. Поколенко В. О., Рижакова Г. М., Приходько Д. О. Запровадження інструментарію вибору альтернатив реалізації будівельних проєктів за функціонально-технічною надійністю організацій-виконавців. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2014. Вип. 19. С.104 – 108.

15. Рижакова Г. М., Приходько Д. О., Предун К. М. Моделі цільового вибору репрезентативних індикаторів діяльності будівельних підприємств: етимологія та типологія систем діагностики. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2017. № 32. С. 159 – 165.

16. Резнік Н. П., Загородня А. С. Вплив цифровізації на інноваційне середовище суспільства. *Біоекономіка і аграрний бізнес*. 2022. Т. 13, № 1. С. 45–55.

17. Гончаренко Т. А. Архітектура програмної системи на основі концепції рефлексивної адаптації. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 54. С. 69 – 76, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2023.54.69-76.

Стаття надійшла до редколегії 02.11.2024

Druzhynin Maksym

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate at the Department of Construction Management,
<https://orcid.org/0000-0003-1821-1968>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Stepanyuk Roman

Postgraduate Student at the Department of Construction Management,
<https://orcid.org/0009-0001-5945-8468>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Herhi Marian

Postgraduate Student at the Department of Construction Management,
<https://orcid.org/0009-0001-1005-8068>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Malykhin Mykhailo

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Organization and Management in Construction, <https://orcid.org/0000-0002-9721-2733>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Storozhuk Oleksandr

Postgraduate Student at the Department of Construction Management,
<https://orcid.org/0009-0003-8305-1080>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Kostenko Denys

Postgraduate Student at the Department of Construction Management,
<https://orcid.org/0000-0001-7419-1725>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

DIGITAL MODELS OF CONSTRUCTION ORGANIZATION BASED ON THE INTEGRATIVE APPROACH AND SMART MANAGEMENT

Abstract. The article investigates digital technologies for adapting models of construction organization to contemporary challenges, including economic, environmental, and social aspects. Key innovative approaches are examined, such as the use of Building Information Modeling (BIM), digital twins, the Internet of Things (IoT), and cloud platforms, which integrate all stages of construction projects. Special attention is paid to the concept of integrated management, which aligns stakeholder interests and enhances process transparency. A systematization of methodologies is proposed, adapting organizational and technological models to the digitalization context. Specifically, methodologies like Data-Driven Decision-Making, Smart Scheduling, Sustainability Metrics Integration, and Digital Twin-Based Lifecycle Analysis are analyzed. Key performance indicators (KPI) such as forecast accuracy, resource utilization efficiency, energy efficiency, and project phase duration are identified. The article highlights the impact of digital technologies on harmonizing stakeholder interests through data integration and conflict reduction. It demonstrates how digital platforms contribute to cost reduction, process optimization, improved execution quality, and sustainable development. The role of SMART objectives in forming strategies for achieving efficiency in construction is also explored. The findings aim to improve approaches to construction organization through the implementation of digital technologies that adapt models to environmental changes, ensuring their long-term sustainability, flexibility, and competitiveness. The article is relevant.

Keywords: construction enterprise; construction organization; construction development; project management; digital technologies; integrated management; SMART objectives; cloud platforms; stakeholders; interest harmonization; KPI; sustainable development; innovative models; integrative approach

References

1. Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11 (3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
2. Latham, M. (1994). Constructing the Team: Final Report of the Government. *Industry Review of Procurement and Contractual Arrangements in the UK Construction Industry*.
3. Kunz, J. & Fischer, M. (2012). *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation*. Stanford, CA: Center for Integrated Facility Engineering.
4. Love, P. E. D., Irani, Z., & Edwards, D. J. (2004). A Rework Reduction Model for Construction Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51 (4), 426–440. <https://doi.org/10.1109/TEM.2004.835087>
5. Eastman, C. M. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
6. Khomenko, O. M., Petrenko, G. S., Ryzhakova, G. M. & Petrukha, N. M. (2022). Modern Tools and Software Products for Administration of Construction Organizations in the Context of Transformation of Management Operating Systems. *Management of Development of Complex Systems*, Kyiv, (52), 113–125. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.113-125](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.113-125).
7. Zhalat-Lozynska, L. O. (2020). The Concept of Innovative Development of the Construction Industry in the Context of the Pandemic and Economic Crisis. *Economic Space*, 157, 27–31.
8. Mostovenko, O. O. & Zinchenko, M. M. (2023). Features of the Labor Market in Ukraine During the War. *Spatial Development*, 6, 360–367.
9. Savenko, V. I., Demidova, O. O., Shatrova, I. A., Goncharenko, T. A. & Lyashchenko, T. O. (2023). Evolution of Organizational and HR Management Development. *Management of Development of Complex Systems*, 53, 91–99. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2023.53.91-99](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.53.91-99).
10. Bielenkova, O. Y. (2023). Imperatives of Marketing Activity of Construction Stakeholders - Reengineering or Stagnation. *Spatial Development*, 5, 326–338.
11. Ryzhakova, G. M., Prykhodko, D. O. & Pokolenko, V. O. (2022). Updating Scientific and Methodological Approaches to the Development of a Multicriteria System for Administration of Stakeholder Activities in Construction Projects. *Spatial Development*, 1, 218–233.
12. Lyashchenko, T., Hryshunina, M. & Pichkur, V. (2018). Gamification as One of the Innovative Forms of the Training Process. *Management of Development of Complex Systems*, 35, 113–123.
13. Ryzhakova, G. M., Orlenko, I. M. & Malykhin, O. M. (2021). Methodological Regulation and Analytical and Information Support of Management in Modern Construction Development. *Formation of Market Relations in Ukraine*, 7 (8), 59–65.
14. Pokolenko, V. O., Ryzhakova, G. M. & Prykhodko, D. O. (2014). Implementation of Tools for Selecting Alternatives for the Implementation of Construction Projects by Functional and Technical Reliability of Contractor Organizations. *Management of Development of Complex Systems*, 19, 104–108.
15. Ryzhakova, G. M., Prykhodko, D. O. & Predun, K. M. (2017). Models of Target Selection of Representative Indicators of Construction Enterprises Activities: Etymology and Typology of Diagnostic Systems. *Management of Development of Complex Systems*, 32, 159–165.
16. Reznik, N. P. & Zahorodnia, A. S. (2022). The Impact of Digitalization on the Innovative Environment of Society. *Bioeconomics and Agrarian Business*, 13 (1), 45–55.
17. Honcharenko, T. A. (2023). The Architecture of a Software System Based on the Concept of Reflexive Adaptation. *Management of Development of Complex Systems*, 54, 69–76. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2023.54.69-76](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.54.69-76).

Посилання на публікацію

- APA Druzhynin, M., Stepanyuk, R., Herhi, M., Malykhin, M., Storozhuk, O. & Kostenko, D. (2024). Digital models of construction organization based on the integrative approach and smart management. *Management of Development of Complex Systems*, 60, 165–173. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.165-173](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.165-173).
- ДСТУ Дружинін М. А., Степанюк Р. Б., Гергі М. С., Малихін М. О., Сторожук О. В., Костенко Д. В. Цифрові моделі організації будівництва на ґрунті інтеграційного підходу та SMART-управління. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 59. С. 165 – 173. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.165-173](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.165-173).