

DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.174-182

УДК 330:658

Кричевська Юлія Василівна

Аспірантка кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0009-0003-7036-3376>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Рижакова Галина Михайлівна

Докторка економічних наук, професорка, завідувачка кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0000-0002-7875-9768>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Шпаков Андрій Васильович

Доктор економічних наук, професор, професор кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0000-0002-7498-4271>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Поколенко Вадим Олегович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0000-0003-1750-5964>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Приходько Дмитро Олександрович

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

<https://orcid.org/0000-0002-4926-4790>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЦИФРОВА ЕКОСИСТЕМА В БУДІВЕЛЬНОМУ ДЕВЕЛОПМЕНТІ: КОНЦЕПТУАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА УПРАВЛІНСЬКІ ІМПЕРАТИВИ

***Анотація.** У статті досліджено концептуальні і теоретичні аспекти трансформації середовища будівельних девелоперських проєктів у цифрову екосистему. Ця трансформація є ключовою відповіддю на виклики сучасного будівництва, включаючи інтеграцію стейкхолдерів, оптимізацію ресурсів і необхідність сталого розвитку. У дослідженні наголошується на ролі цифрових технологій, таких як Building Information Modeling (BIM), системи управління ресурсами підприємства (ERP), Інтернет речей (IoT) і цифрові двійники, у забезпеченні прозорості, інтеграції та синхронізації операційних і управлінських процесів у будівельних проєктах. Дослідження висвітлює переваги цифрової екосистеми, серед яких зниження витрат, скорочення термінів реалізації проєктів, покращення якості управлінських рішень і мінімізація екологічного впливу. Крім того, інтеграція цих технологій підтримує довгострокове управління життєвим циклом будівельних проєктів, підвищуючи їхню операційну ефективність та екологічну стійкість. Основні результати підкреслюють необхідність адаптації бізнес-процесів до вимог цифрових екосистем, підготовки персоналу до використання передових цифрових інструментів і інтеграції цих технологій у вже існуючі організаційні структури. У статті також представлена модель цифрової екосистеми для будівельного девелопменту, яка враховує операційно-виробничі та управлінсько-адміністративні імперативи, забезпечуючи узгодженість стратегічного, тактичного й оперативного рівнів управління. У статті також розглянуто основні виклики цифрової трансформації у будівництві, такі як опір змінам, відсутність стандартизації та високі початкові інвестиції, необхідні для впровадження передових технологій. Дослідження робить висновок, що трансформація середовища будівельних девелоперських проєктів у цифрову екосистему є не лише критично важливою для підвищення ефективності та конкурентоспроможності, а й для задоволення вимог сучасного ринку та забезпечення стійкості будівельної галузі в умовах швидкого розвитку технологій.*

Ключові слова: будівельне підприємство; цифрова екосистема; будівельний девелопмент; цифрова трансформація; будівельний проєкт; інновації; життєвий цикл будівельного об'єкта; сталий розвиток; синергетичний ефект; оптимізація ресурсів; інтеграція стейкхолдерів; економічна стійкість

Вступ

Операційно-виробничі й управлінсько-адміністративні імперативи розвитку інвестиційно-будівельних проєктів визначають ключові аспекти організації, управління та виконання будівельних проєктів. Ці імперативи є основою для створення ефективної системи, що забезпечує успішну реалізацію проєктів, оптимізацію ресурсів та досягнення стратегічних цілей підприємства, охоплюючи всі аспекти, пов'язані з плануванням, виконанням і контролем будівельних робіт. Одним із ключових завдань є впровадження сучасних технологій і методів, таких як Building Information Modeling (BIM), що уможливорює створювати інтегровані моделі будівель і оптимізувати всі етапи проєкту. До цього також належать процеси автоматизації управління ресурсами, включаючи матеріали, обладнання, людські ресурси, а також моніторинг їхнього використання в реальному часі. Операційні імперативи також включають управління ризиками, планування логістики і забезпечення відповідності нормативним стандартам.

Управлінсько-адміністративні імперативи стосуються стратегічного управління проєктом, координації між стейкхолдерами та створення системи, яка підтримує прозорість і своєчасне прийняття рішень. Основна увага приділяється впровадженню цифрових платформ для комунікації між учасниками проєкту, що забезпечує доступ до актуальної інформації та знижує ризик помилок. Сучасні підходи, такі як IPD (Integrated Project Delivery), уможливають узгоджувати інтереси всіх сторін, підвищувати рівень співпраці та уникати конфліктів. Іншим важливим аспектом є фінансове управління, включаючи бюджетування, оцінку витрат і контроль грошових потоків. Ефективне фінансове адміністрування допомагає забезпечити стабільність проєкту навіть за умов нестабільної економічної ситуації. Крім того, важливу роль відіграють механізми залучення інвестицій, включаючи використання публічно-приватних партнерств (PPP) та інших інноваційних фінансових інструментів.

Обидва типи імперативів – операційно-виробничі та управлінсько-адміністративні – сприяють підвищенню ефективності розвитку інвестиційно-будівельних проєктів. Їхня інтеграція в єдину систему уможливорює створити умови для швидкої адаптації до ринкових викликів, зменшення витрат і підвищення якості кінцевого результату. Зокрема, такі імперативи сприяють створенню інноваційних рішень, які відповідають сучасним вимогам сталого розвитку, цифровізації та глобальної конкуренції у сфері будівництва.

Постановка проблеми

Операційно-виробничі й управлінсько-адміністративні імперативи розвитку інвестиційно-будівельних проєктів стикаються з низкою невирішених питань та проблем, які перешкоджають їхній ефективній реалізації в умовах сучасного будівельного ринку. Однією з головних проблем є недостатня інтеграція учасників проєкту в єдине інформаційне середовище. Незважаючи на широке впровадження цифрових технологій, таких як Building Information Modeling (BIM), часто виникають труднощі із забезпеченням прозорої комунікації та координації між різними сторонами. Відсутність стандартизованих процедур обміну даними ускладнює інтеграцію підрядників, постачальників та замовників, що може призводити до помилок, затримок і перевитрат ресурсів. Ще однією суттєвою проблемою є недостатня підготовка персоналу до використання сучасних цифрових інструментів. Багато працівників, включаючи керівників проєктів, інженерів та робітників, не мають необхідних компетенцій для роботи з інноваційними технологіями. Це призводить до опору змінам, помилок у впровадженні та неповного використання можливостей цифрових платформ.

Економічна нестабільність і ризики у фінансовому управлінні також залишаються актуальними проблемами. Непередбачувані коливання валютного курсу, зростання цін на матеріали та енергію ускладнюють планування бюджету проєктів. Недостатність фінансових інструментів для управління ризиками, таких як хеджування чи страхування, часто обмежує здатність підприємств підтримувати стабільність проєктів. Крім того, є питання нормативного регулювання, яке не завжди відповідає сучасним потребам галузі. У багатьох країнах законодавча база щодо використання цифрових технологій у будівництві, таких як BIM, все ще не є достатньо розвинутою. Це створює правову невизначеність для компаній, які прагнуть впроваджувати інновації. Логістика будівельних матеріалів також залишається викликом. Відсутність ефективного управління ланцюгами постачання, затримки у доставці матеріалів і недостатня координація між постачальниками часто стають причиною зривів графіка виконання робіт. Ще одне невирішене питання стосується екологічної стійкості. Незважаючи на зростання інтересу до "зеленого будівництва", багато девелоперів не мають чіткої стратегії інтеграції екологічних стандартів у свої проєкти. Це пов'язано з додатковими витратами на екологічно чисті матеріали та технології, які не завжди мають підтримку серед замовників.

Іншою проблемою є вплив глобалізації та конкуренції на будівельну галузь. Великі міжнародні компанії часто мають більше ресурсів для впровадження інновацій, тоді як локальні підприємства можуть залишатися менш конкурентоспроможними через брак фінансів, технологій або досвіду.

Отже, операційно-виробничі й управлінсько-адміністративні імперативи девелопменту інвестиційно-будівельних проєктів стикаються з викликами, які вимагають комплексного підходу до їх вирішення. Інтеграція цифрових технологій, підвищення кваліфікації персоналу, розроблення ефективних фінансових та правових інструментів, а також акцент на екологічну стійкість можуть стати основою для подолання цих проблем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Операційно-виробничі й управлінсько-адміністративні імперативи девелопменту інвестиційно-будівельних проєктів є ключовими аспектами, що визначають ефективність та успішність реалізації будівельних ініціатив. У цій сфері є низка наукових праць, які заклали фундаментальні принципи та підходи до управління й організації будівельних проєктів.

Однією з основоположних робіт є книга Майкла Хаммера та Джеймса Чемпі "Реінжиніринг корпорації: Маніфест бізнес-революції" (1993) [1]. У цій праці автори вводять концепцію реінжинірингу бізнес-процесів, що передбачає радикальне переосмислення та перебудову основних бізнес-процесів для досягнення значних покращень у показниках продуктивності, якості та швидкості. Цей підхід став основою для багатьох організацій, включаючи будівельні компанії, у прагненні підвищити ефективність операційної діяльності.

Лаурі Коскела, відомий дослідник у галузі будівництва, у своїй роботі "Застосування нової філософії виробництва до будівництва" (1992) запропонував новий підхід до управління будівельними проєктами, відомий як "бережливе будівництво" (Lean Construction) [2]. Ця концепція базується на мінімізації втрат та підвищенні цінності для клієнта через оптимізацію всіх процесів будівництва. Праця Коскели стала важливим внеском у розвиток теорії та практики управління будівельними проєктами.

У книзі "Бережливе будівництво: Основні концепції та нові горизонти" (2017), авторами якої є П. Тзорцопулос, М. Кагіоглу та Л. Коскела [3], зібрано сучасні дослідження та практики у сфері бережливого будівництва. Ця праця надає глибокий аналіз концепцій і методів, що сприяють підвищенню

ефективності та продуктивності в будівельній галузі, а також розглядає нові напрями розвитку цієї методології.

Гленн Баллард та Грегорі Гауелл у своїй статті "Впровадження бережливого будівництва: Стабілізація робочого потоку" (1994) розглядають практичні аспекти застосування принципів бережливого виробництва в будівництві. Автори [4] пропонують методи стабілізації робочого потоку, що дають змогу зменшити варіабельність та підвищити передбачуваність будівельних процесів, що є критично важливим для успішної реалізації проєктів.

Робота Рікарда Врійгофа та Лаурі Коскели "Чотири ролі управління ланцюгом постачання в будівництві" (2000) аналізує різні аспекти управління ланцюгом постачання у будівельних проєктах. Автори [5] виокремлюють чотири ключові ролі: управління потоком ресурсів, інтеграція процесів, координація учасників та створення цінності для клієнта. Ця праця підкреслює важливість комплексного підходу до управління ланцюгом постачання для підвищення ефективності будівельних проєктів.

Наукові праці українських авторів [6 – 19], присвячені темі трансформації середовища будівельного девелоперського проєкту до формату цифрової екосистеми й операційно-виробничих і управлінсько-адміністративних імперативів, аналізують сучасні підходи до оптимізації та цифровізації будівельних процесів.

Загалом, ці наукові праці заклали основу для сучасних підходів до операційно-виробничих та управлінсько-адміністративних імперативів у девелопменті інвестиційно-будівельних проєктів, акцентують увагу на інтеграції цифрових технологій, поліпшенні адміністрування та побудові систем, які відповідають викликам сучасного будівельного середовища, сприяючи розвитку ефективних методів управління й організації будівельних процесів.

Мета статті

Мета статті полягає в розробці концептуально-теоретичної основи трансформації середовища будівельного девелоперського проєкту до формату цифрової екосистеми, яка забезпечує інтеграцію учасників, оптимізацію ресурсів та підвищення ефективності управління в умовах цифрової економіки.

Завдання статті полягають у такому:

1. Проаналізувати сучасні тенденції у цифровій трансформації будівельної галузі, зокрема вплив цифрових технологій на управління девелоперськими проєктами.

2. Визначити ключові теоретичні підходи до формування цифрових екосистем у будівництві та їхній вплив на організаційно-технологічні процеси.

3. Розкрити основні компоненти цифрової екосистеми будівельного проєкту, включаючи технологічні платформи (BIM, ERP, IoT), механізми інтеграції стейкхолдерів і системи управління даними.

4. Оцінити можливості та виклики впровадження цифрових екосистем для управління девелоперськими проєктами в мультипроєктному середовищі.

5. Розробити структурно-функціональну модель цифрової екосистеми будівельного проєкту, що враховує економічні, технологічні й організаційні фактори.

6. Запропонувати практичні рекомендації для будівельних підприємств щодо адаптації наявних бізнес-процесів до формату цифрових екосистем.

7. Сформулювати висновки щодо перспектив розвитку цифрових екосистем у будівельному девелопменті та їхньої ролі у забезпеченні інноваційного розвитку галузі.

Мета та завдання спрямовані на створення теоретичної та практичної бази для трансформації середовища будівельних проєктів, що сприятиме підвищенню їхньої ефективності та конкурентоспроможності в умовах цифрової економіки.

Виклад основного матеріалу

Основоположником терміна "цифрова екосистема" вважається дослідник Джеймс Ф. Мур, який у 1993 р. вперше використав поняття "екосистема" в контексті бізнесу у своїй роботі "Predators and Prey: A New Ecology of Competition". Хоча первісно його концепція стосувалася бізнес-середовища, де організації взаємодіють подібно до природних екосистем, у подальшому це поняття було адаптовано до цифрової трансформації, що інтегрує технологічні, економічні та соціальні аспекти. Цифрова екосистема почала розглядатися як мережа взаємозалежних цифрових компонентів, які

забезпечують обмін даними, співпрацю та створення цінності.

У контексті будівельного проєкту "цифрова екосистема" стає основою для інтеграції всіх учасників процесу – замовників, девелоперів, підрядників, постачальників і кінцевих користувачів. Будівельні проєкти, особливо в рамках сучасного девелопменту, включають велику кількість складних організаційно-технологічних процесів. Традиційно ці процеси виконувалися розрізнено, що призводило до втрат у часі, ресурсах і якості. Концепція цифрової екосистеми дає змогу перейти до більш інтегрованого підходу, де всі учасники можуть взаємодіяти через єдине цифрове середовище.

Цифрова екосистема в будівництві базується на технологіях, таких як Building Information Modeling (BIM), ERP-системи, Інтернет речей (IoT), хмарні платформи та штучний інтелект. Вона уможливорює створювати віртуальні моделі об'єктів, які інтегрують інформацію про дизайн, матеріали, ресурси та графіки виконання робіт. Це значно підвищує прозорість і передбачуваність будівельного процесу, мінімізує ризики та забезпечує можливість швидкого коригування рішень на основі актуальних даних. Застосування цифрової екосистеми в будівельних проєктах також відкриває нові можливості для управління життєвим циклом об'єкта. Вона допомагає забезпечити ефективну експлуатацію й обслуговування після завершення будівництва. Наприклад, цифрові двійники будівель (digital twins), створені в рамках екосистеми, забезпечують моніторинг стану об'єкта в реальному часі та прогнозування потреб у ремонті. Отже, концепція цифрової екосистеми, адаптована до будівельного девелопменту, стає ключовим інструментом для підвищення ефективності управління проєктами (таблиця). Вона не лише відповідає сучасним вимогам ринку, але й формує нові стандарти якості, інноваційності та стійкості у будівельній галузі.

Таблиця – Ключові аспекти переходу до цифрової екосистеми будівельного підприємства

Характеристика	Опис
Інтеграція учасників проєкту	Об'єднання всіх учасників будівельного процесу в єдине цифрове середовище для спільного планування та управління.
Прозорість даних	Забезпечення доступу до актуальної інформації для всіх стейкхолдерів, що мінімізує помилки і покращує комунікацію.
Застосування цифрових двійників	Симуляція сценаріїв розвитку проєкту, аналіз ризиків і прогнозування результатів на основі цифрових моделей об'єктів.
Адаптивність до змін	Швидка реакція на зміни в умовах будівництва, бюджету або графіків завдяки інтегрованим інструментам.
Автоматизація бізнес-процесів	Використання ERP-систем і хмарних платформ для автоматизації управління ресурсами та бюджетування.
Інтелектуальне управління даними	Аналіз великих обсягів даних за допомогою AI для прогнозування ризиків та оптимізації рішень.

Закінчення таблиці

Характеристика	Опис
Інтернет речей (IoT)	Моніторинг стану обладнання й ефективності використання ресурсів у реальному часі.
Стійкість та екологічність	Використання екологічно чистих матеріалів та енергоефективних рішень для зменшення викидів.
Мультиплатформність	Інтеграція BIM, ERP, CRM та інших інструментів для створення єдиної цифрової архітектури.
Розподіл відповідальності	Чітке визначення ролей і зон відповідальності для кожного стейкхолдера.
Оптимізація витрат	Скорочення витрат на управління ресурсами і покращення контролю над бюджетом.
Підвищення якості комунікації	Безперервний обмін інформацією між командами через цифрові платформи.
Довгострокове управління життєвим циклом	Підтримка об'єкта на всіх етапах його життєвого циклу, включаючи експлуатацію.
Підвищення конкурентоспроможності	Інноваційність і прозорість роблять компанію більш привабливою для інвесторів і партнерів.
Навчання й адаптація персоналу	Підвищення кваліфікації працівників для ефективного використання нових технологій.

Для забезпечення ефективного управління будівельними проектами в умовах цифрової трансформації важливо оцінювати інтеграційний потенціал учасників, який визначає їхню спроможність до співпраці, оптимального використання ресурсів і досягнення синергетичних ефектів. Економіко-математичні моделі відіграють ключову роль у цьому процесі, надаючи аналітичні інструменти для оцінки внесків учасників, управління ризиками та визначення ефективності взаємодії в цифровій екосистемі. Нижченаведені моделі пропонують багатовимірний підхід до аналізу, враховуючи фінансові, технологічні, комунікаційні й операційні аспекти інтеграції. Вони спрямовані на виявлення сильних і слабких сторін взаємодії, забезпечення прозорості та підтримки прийняття обґрунтованих рішень у процесі реалізації будівельних проектів.

Модель оцінки внеску учасників у загальний потенціал проекту

$$P_i = (C_i + E_i + R_i) / \Sigma(C_j + E_j + R_j),$$

де P_i – відсотковий внесок учасника i у загальний потенціал проекту; C_i – капітальний внесок учасника i ; E_i – технологічний внесок (експертиза) учасника i ; R_i – ресурсний внесок учасника i ; n – загальна кількість учасників.

Модель оптимального розподілу ресурсів між учасниками

$$R_i = (P_i \times R_{total}) / \Sigma P_j,$$

де R_i – обсяг ресурсів, розподілений учаснику i ; R_{total} – загальний обсяг ресурсів; P_i – внесок учасника i у загальний потенціал.

Модель координаційної ефективності учасників

$$CE = \Sigma(T_i \times C_i) / T_{total},$$

де CE – координаційна ефективність; T_i – час, витрачений учасником i на комунікацію; C_i – кількість рішень, прийнятих учасником i ; T_{total} – загальний час.

Модель оцінки синергетичного ефекту учасників

$$SE = (\Sigma O_i - \Sigma I_i) / \Sigma I_i,$$

де SE – синергетичний ефект; O_i – вихід (output) від діяльності учасника i ; I_i – вхідні ресурси (input) учасника i .

Модель інтеграційної стійкості учасників

$$IS = \Sigma(W_i \times S_i) / n,$$

де IS – інтеграційна стійкість; W_i – ваговий коефіцієнт участі учасника i ; S_i – оцінка стійкості участі стейкхолдера i .

Модель аналізу ризиків учасників проекту

$$R_{total} = \Sigma(R_i \times P_i),$$

де R_{total} – загальний ризик проекту; R_i – ризик, пов'язаний з учасником i ; P_i – ймовірність виникнення ризику для учасника i .

Модель інтеграції технологічного потенціалу учасників

$$TP = \Sigma(T_i \times Q_i) / T_{total},$$

де TP – технологічний потенціал екосистеми; T_i – кількість технологій, впроваджених учасником i ; Q_i – ефективність технології учасника i ; T_{total} – загальна кількість технологій у проекті.

Цифрові екосистеми в будівельному девелопменті стали ключовим інструментом для адаптації галузі до сучасних викликів, таких як глобалізація, потреба у сталому розвитку та

підвищення ефективності управління проектами. Використання цифрових рішень допомагає інтегрувати учасників проекту, автоматизувати процеси, зменшувати ризики та створювати більш екологічно відповідальні будівельні рішення. У світовій практиці відомі приклади інноваційних проектів, де цифрова екосистема стала основою для досягнення високих результатів. Вони демонструють можливості, які надають передові технології для організації будівельних процесів у глобальному контексті. Наведемо декілька прикладів міжнародних будівельних девелоперських проектів, реалізованих у форматі цифрової екосистеми.

- Hudson Yards (Нью-Йорк, США) – масштабний проєкт змішаного використання, що активно застосовує технологію Building Information Modeling (BIM) для інтеграції всіх етапів будівництва. Цифрова екосистема забезпечує координацію між архітекторами, інженерами та підрядниками, оптимізуючи процеси проєктування і будівництва. Використання цифрових технологій уможливило зменшити витрати і скоротити терміни реалізації проєкту.

- Crossrail (Лондон, Велика Британія), відомий як Elizabeth Line, є однією з найбільших інфраструктурних ініціатив Європи. Він використовує цифрову екосистему для управління складною мережею підземних тунелів та станцій. Інформаційне моделювання й інтегровані платформи даних забезпечують ефективну співпрацю між численними підрядниками та постачальниками, підвищуючи точність і знижуючи ризики.

- Sydney Opera House Digital Engineering Initiative (Сідней, Австралія) спрямований на створення цифрового двійника Сіднейського оперного театру для покращення управління об'єктом. Цифрова екосистема об'єднує дані про будівлю, що дає змогу оптимізувати технічне обслуговування, планування ремонтів та забезпечення безпеки.

- Smart City Project in Songdo (Інчхон, Південна Корея), проєкт Songdo International Business District – це розумне місто, побудоване з використанням інтегрованої цифрової інфраструктури. Будівельні проєкти в цьому місті використовують інтернет речей (IoT), великі дані та автоматизовані системи управління для створення стійкого й ефективного міського середовища.

- Офісна будівля The Edge (Амстердам, Нідерланди) відома своєю високою енергоефективністю та використанням цифрових технологій. Інтегрована цифрова екосистема керує освітленням, опаленням та іншими системами будівлі, адаптуючись до потреб користувачів і знижуючи енергоспоживання.

Ці приклади демонструють, як цифрові екосистеми можуть підвищити ефективність, знизити витрати та покращити співпрацю в будівельних девелоперських проєктах.

Висновки

У результаті дослідження концептуально-теоретичних аспектів трансформації середовища будівельного девелоперського проєкту до формату цифрової екосистеми було виявлено, що цифровізація є ключовим фактором для підвищення ефективності, стійкості та конкурентоспроможності будівельних підприємств. Цифрова екосистема об'єднує всіх учасників проєкту, включаючи замовників, підрядників, девелоперів і постачальників, у єдине інформаційне середовище, яке забезпечує прозорість, інтеграцію та синхронізацію операційних і управлінських процесів.

Впровадження таких технологій, як Building Information Modeling (BIM), ERP-системи, Інтернет речей (IoT) і цифрові двійники (digital twins), дає змогу оптимізувати планування, реалізацію та управління життєвим циклом об'єкта. Ці інструменти не лише сприяють підвищенню якості проєктування та будівництва, а й забезпечують ефективну експлуатацію об'єктів у довгостроковій перспективі. Основними перевагами цифрової екосистеми є зниження витрат, скорочення термінів реалізації проєктів, підвищення якості управлінських рішень та зменшення екологічного впливу. Водночас ключовими викликами залишаються адаптація бізнес-процесів, підвищення кваліфікації персоналу та інтеграція цифрових технологій у вже наявні організаційні структури.

Запропоновані моделі цифрової екосистеми для будівельного девелопменту уможливають враховувати операційно-виробничі й управлінсько-адміністративні імперативи, забезпечуючи узгодженість стратегічного, тактичного та оперативного рівнів управління. Це створює підґрунтя для ефективної взаємодії стейкхолдерів, оптимізації ресурсів та впровадження інноваційних підходів до управління будівельними проєктами. Отже, трансформація середовища будівельного девелоперського проєкту до формату цифрової екосистеми є невід'ємною складовою сучасного будівельного ринку. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення практичних рекомендацій щодо впровадження таких екосистем і визначення їхнього впливу на економічну й екологічну стійкість галузі.

Список літератури

1. Hammer, Michael, and James Champy. *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*. Harper Business, 1993, 233 pages.
2. Koskela, Lauri. *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Technical Report No. 72, Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering, Stanford University, 1992, 75 pages.
3. Tzortzopoulos, P., Kagioglou, M., and Koskela, L. *Lean Construction: Core Concepts and New Frontiers*. Routledge, 2017, 312 pages.
4. Ballard, Glenn, and Howell, Gregory. "Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow." *Proceedings of the 2nd Annual Conference on Lean Construction*, 1994, pp. 101–110.
5. Vrijhoef, R., and Koskela, L. "The Four Roles of Supply Chain Management in Construction." *European Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 6, no. 3-4, 2000, pp. 169–178.
6. Беленкова, О. Ю. (2019). Цифрова трансформація будівництва: механізм взаємодії бізнесу, науки, держави. *Будівельне виробництво*, 1 (66), 30–36.
7. Рижакова, Г., Приходько, Д., Поколенко, В., Петруха, Н., Чуприна, Ю., & Хоменко, О. (2022). Оновлення науково-методичних підходів до побудови полікритеріальної системи адміністрування діяльністю підприємств-стейкхолдерів проєктів будівництва. *Просторовий розвиток*, (1), 218–233.
8. Хоменко О. М., Петренко Г. С., Рижакова Г. М., Петруха Н. М., Чуприна Ю. А., Малихіна О. М., Кушнір О. К. 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.
9. Поколенко, В. О., Рижакова, Г. М., & Приходько, Д. О. (2014). Запровадження інструментарію вибору альтернатив реалізації будівельних проєктів за функціонально-технічною надійністю організацій-виконавців. *Управління розвитком складних систем*, (19 (2)), 108–114.
10. Петренко Г. С., Петруха Н. М., Рижакова Г. С., Марчук Т. С., Малихіна О. М., Приходько Д. О. Прикладні підсистеми аналітичного супроводу інституційних учасників при реалізації проєктів ДПП у будівництві. *Управління розвитком складних систем*. Київ. 2021. № 46. С. 108 – 117; dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.46.108-117.
11. Рижакова, Г. М., Стеценко, С. П., & Лагутіна, З. В. (2013). Альтернативні аналітичні інструменти забезпечення економічної безпеки державного інвестування будівельних проєктів. *Управління розвитком складних систем*, (16), 203–208.
12. Аксельрод, Р. Б., Шпаков, А. В., & Рижакова, Г. М. (2021). Економіко-управлінські предиктори трансформації операційних систем будівельного девелопменту в умовах цифровізації економіки. *Формування ринкових відносин в Україні*, (12), 113–121.
13. Приходько Д. О., Дикий О. В., Малихіна О. М., Валінкевич Н. В., Іщенко Т. М., Савчук Т. В. Економіко-інституціональні аспекти формування портфеля девелопера: зміна парадигми й інноваційні рішення управління. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2021. № 47. С. 119 – 129, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.47.119-129.
14. Рижакова, Г. М., & Рижаков, Д. А. (2016). Альтернативний інструментарій системного внутрішнього аудиту підприємств. *Будівельне виробництво*, (61 (2)), 25–30.
15. Онікієнко Н. В., Петруха Н. М., Рижакова Г. М. (2023). Науково-прикладні компоненти полікритеріальної системи оцінки інноваційного розвитку підприємств: імперативи взаємодії інтегрованих структур. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. No 52(1). 261–273.
16. Трач, Р. В., Рижакова, Г. М., & Крижановський, В. І. (2017). Інформаційне моделювання та концепція інтегрованої реалізації будівельних проєктів як основа інноваційного розвитку будівельного підприємства. *Управління розвитком складних систем*, (31), 173–178.
17. Приходько Д. О., Шпаков А. В., Герашенко О. П., Кішак Н. Г., Чуприна Х. М., Роговченко В. С., Горбач М. В. Оцінка структурної конфігурації корпоративних відносин у контексті організаційного розвитку проєктноорієнтованих підприємств. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 52. С. 93 – 102, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.52.93-102.
18. Рижакова, Г. М. (2012). Економетричне моделювання процесу формування обсягів реалізації продукції малих підприємств у будівництві. *Будівельне виробництво*, (53), 58–61.
19. Зельцер, Р. Я., Беленкова, О. Ю., Новак, Є. В., & Дубінін, Д. В. (2019). Цифрова трансформація процесів ресурсно-логістичного та організаційно-структурного забезпечення будівництва. *Наука та інновації*. Т. 15, № 5. С. 38–51.
20. Беленкова, О. Ю., & Цифра, Т. Ю. (2019). Формування стратегії забудовників в умовах економічної динаміки. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, (42), 189–198.

Стаття надійшла до редколегії 10.11.2024

Krychevs'ka Yliia

PhD Student, Department of Management in Construction,

<https://orcid.org/0009-0003-7036-3376>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Ryzhakova Galyna

DSc (Economics), Professor, Head of the department of management in construction,

<https://orcid.org/0000-0002-7875-9768>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Shpakov Andrii

DSc (Economics), Professor, Professor of the Department of Management in Construction,

<https://orcid.org/0000-0002-7498-4271>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Pokolenko Vadim

DSc, professor, professor of management department in construction,

<https://orcid.org/0000-0003-1750-5964>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Prykhodko Dmytro

PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management in Construction,

<https://orcid.org/0000-0002-4926-4790>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**DIGITAL ECOSYSTEM IN CONSTRUCTION DEVELOPMENT:
CONCEPTUAL-THEORETICAL ASPECTS OF TRANSFORMATION AND MANAGEMENT IMPERATIVES**

Abstract. *The article explores conceptual and theoretical aspects of transforming the environment of construction development projects into a digital ecosystem. This transformation is a key response to the challenges of modern construction, including the integration of stakeholders, optimization of resources, and the need for sustainable development. The research emphasizes the role of digital technologies such as Building Information Modeling (BIM), Enterprise Resource Planning (ERP) systems, the Internet of Things (IoT), and digital twins in fostering transparency, integration, and synchronization of operational and managerial processes in construction projects. The study highlights the advantages of a digital ecosystem, including cost reduction, shorter project timelines, improved decision-making quality, and minimized environmental impact. Additionally, the integration of these technologies supports long-term lifecycle management of construction projects, enhancing their operational efficiency and ecological sustainability. Key findings emphasize the necessity of adapting business processes to meet the requirements of digital ecosystems, training personnel to use advanced digital tools, and integrating these technologies within existing organizational structures. Moreover, the article presents a model of a digital ecosystem for construction development that considers operational-production and managerial-administrative imperatives, ensuring consistency across strategic, tactical, and operational levels of management. The article also addresses the main challenges of digital transformation in construction, such as resistance to change, lack of standardization, and the high initial investment required for implementing advanced technologies. The study concludes that the transformation of construction development environments into digital ecosystems is not only crucial for enhancing efficiency and competitiveness but also for meeting the demands of modern markets and ensuring the sustainability of the construction industry in a rapidly evolving technological landscape.*

Keywords: *construction enterprise; digital ecosystem; construction development; digital transformation; construction project management; innovations; lifecycle of a construction object; sustainable development; synergistic effect; resource optimization; stakeholder integration; economic sustainability*

References

1. Hammer, M. & Champy, J. (2009). *Reengineering the corporation: Manifesto for business revolution*, a. Zondervan.
2. Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Vol. 72, p. 39). Stanford: Stanford University.
3. Tzortzopoulos, P., Kagioglou, M. & Koskela, L. (Eds.). (2020). *Lean construction: Core concepts and new frontiers*. Routledge.
4. Ballard, G. & Howell, G. (1994). Implementing lean construction: stabilizing work flow. *Lean construction*, 2, 105–114.
5. Vrijhoef, R. & Koskela, L. (2000). The four roles of supply chain management in construction. *European journal of purchasing & supply management*, 6 (3–4), 169–178.
6. Bielenkova, O. Y. (2019). Digital Transformation in Construction: Mechanism of Interaction Between Business, Science, and State. *Construction Production*, 66 (1), 30–36.
7. Ryzhakova, G., Prykhodko, D., Pokolenko, V., Petrukha, N., Chupryna, Y. & Khomenko, O. (2022). Updating Scientific and Methodological Approaches to the Construction of a Multi-Criteria Administration System for Stakeholders of Construction Projects. *Spatial Development*, 1, 218–233.

8. Homenko, O., Petrenko, H., Ryzhakova, G., Chupryna, Yu., Malykhina, O., Petrukha, N. & Kushnir, O. (2022). Modern tools and software products for the administration of construction organizations in the conditions of transformation of operational management systems. *Management of Development of Complex Systems*, 52, 113–125, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.113-125.
9. Pokolenko, V. O., Ryzhakova, G. M. & Prykhodko, D. O. (2014). Introduction of Tools for Selecting Alternatives for the Implementation of Construction Projects Based on Functional and Technical Reliability of Executing Organizations. *Management of Complex Systems Development*, 19 (2), 108–114.
10. Petrenko, A., Petrukha, N., Ryzhakova, H., Marchuk, T., Malykhina, O. & Prykhodko, D. (2021). Choice of budgeting imperatives for investment and construction project as a direction of improving the financial management system of the enterprise. *Management of Development of Complex Systems*, 46, 108–117, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2021.46.108-117.
11. Ryzhakova, G. M., Stetsenko, S. P. & Lagutina, Z. V. (2013). Alternative Analytical Tools to Ensure Economic Security of State Investment in Construction Projects. *Management of Complex Systems Development*, 16, 203–208.
12. Akselrod, R. B., Shpakov, A. V. & Ryzhakova, G. M. (2021). Economic and Managerial Predictors of the Transformation of Operational Systems of Construction Development in the Context of the Digital Economy. *Formation of Market Relations in Ukraine*, 12, 113–121.
13. Prykhodko, D., Malykhina, O., Dykyi, O. R., Valinkevych, N., Ishchenko, T. & Savchuk, T. (2021). Economic and institutional aspects of developer portfolio formation: paradigm shift and innovative management solutions. *Management of Development of Complex Systems*, 47, 119–129, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2021.47.119-129.
14. Ryzhakova, G. M. & Ryzhakov, D. A. (2016). Alternative Tools for Internal Audit of Contractor Enterprises. *Construction Production*, 61 (2), 25–30.
15. Onikiyenko, N. V., Petrukha, N. M. & Ryzhakova, G. M. (2023). Scientific and Applied Components of a Multi-Criteria System for Evaluating Innovative Development of Enterprises: Imperatives of Interaction Between Integrated Structures. *Ways to Improve Construction Efficiency in the Context of Market Relations Formation*, 52 (1), 261–273.
16. Trach, R. V., Ryzhakova, G. M. & Kryzhanovskiy, V. I. (2017). Information Modeling and the Concept of Integrated Implementation of Construction Projects as a Basis for Innovative Development of Construction Enterprises. *Management of Complex Systems Development*, 31, 173–178.
17. Prykhodko, D., Shpakov, A., Gerashenko, O., Kishchak, N., Chupryna, K., Rogovchenko, V. & Horbach, M. (2022). Assessment of structural configuration of corporate relationships in the context of organizational development for project-oriented enterprises. *Management of Development of Complex Systems*, 52, 93–102, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.93-102.
18. Ryzhakova, G. M. (2012). Econometric Modeling of the Process of Forming the Volume of Product Sales by Small Enterprises in Construction. *Construction Production*, 53, 58–61.
19. Zeltsier, R. Y., Bielenkova, O. Y., Novak, E. V. & Dubinin, D. V. (2019). Digital Transformation of Resource-Logistic and Organizational-Structural Processes in Construction. *Science and Innovations*, 15 (5), 38–51.
20. Bielenkova, O. Y. & Tsyfra, T. Y. (2019). Formation of Developers' Strategies in Conditions of Economic Dynamics. *Ways to Improve Construction Efficiency in the Context of Market Relations Formation*, 42, 189–198.

Посилання на публікацію

- APA Krychevs'ka, Y., Ryzhakova, G., Shpakov, A., Pokolenko, V. & Prykhodko, D. (2024). Digital ecosystem in construction development: conceptual-theoretical aspects of transformation and management imperatives. *Management of Development of Complex Systems*, 60, 174–182, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.174-182.
- ДСТУ Кричевська Ю. В., Рижакова Г. М., Шпаков А. В., Поколенко В. О., Приходько Д. О. Цифрова екосистема в будівельному девелопменті: концептуально-теоретичні аспекти трансформації та управлінські імперативи. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 60. С. 174 – 182, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.174-182.