

DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53\(3\).262-274](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(3).262-274)
УДК 69.059:711.058:004.9

Р.Б. СТЕПАНЮК

аспірант

orcid.org/0009-0001-5945-8468

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ВІМ 4D–7D ЯК ОСНОВА ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ОБ'ЄКТІВ У ПРОМИСЛОВОМУ ТА ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ

У статті розглянуто цифрову модернізацію як системну відповідь на глобальні виклики, що постають перед організацією промислового та цивільного будівництва в умовах технологічної трансформації, динаміки ринку та зростання вимог до ефективності, екологічності й управлінської якості. Визначено, що модернізація охоплює технологічний, організаційний та управлінський рівні, передбачаючи впровадження BIM, Smart Site, IoT, цифрових двійників, предиктивної аналітики та інструментів штучного інтелекту. Обґрунтовано необхідність формування наскрізної цифрової вертикалі «проектування–будівництво–експлуатація». Ключову увагу приділено розвитку систем ВІМ 4D–7D як інструментів інтегрованого управління життєвим циклом об'єкта. Представлено приклади застосування цих технологій у Фінляндії, Великій Британії та Німеччині. Виявлено індикативні орієнтири цифрової трансформації, включаючи рівень автоматизації документообігу, інтеграцію даних, цифрову грамотність персоналу та показники зрілості аналітики. У статті також адаптовано модель процесної зрілості СММІ до умов будівельного девелопменту, що передбачає п'ять рівнів управлінської впорядкованості — від хаотичного до оптимізованого. Для кожного рівня визначено характерні індикатори та інструменти. Запропоновано дорожню карту розвитку процесної зрілості, яка включає стратегічні пріоритети та цифрові платформи управління. Зроблено висновок, що цифрова модернізація має міждисциплінарний характер і потребує синхронізації змін у технічному, управлінському та нормативному середовищі, а також є ключовим чинником забезпечення гнучкості, стійкості та конкурентоспроможності будівельних підприємств у цифрову епоху.

Ключові слова: цифрова модернізація, промислове будівництво, цивільне будівництво, ВІМ, цифрові двійники, управління життєвим циклом, процесна зрілість, СММІ, Smart Construction, предиктивна аналітика, цифрова трансформація.

Постановка проблеми. Цифрова модернізація процесів організації промислового та цивільного будівництва є системною відповіддю на

глобальні виклики, що постають перед галуззю в умовах технологічної революції, зміни пріоритетів замовників, потреби в підвищенні ефективності та адаптації до вимог сталого розвитку. У сучасному будівельному середовищі спостерігається інтенсивне зростання складності проєктів, зменшення термінів реалізації, посилення вимог до контролю якості, екологічної відповідальності, безпеки та енергоефективності. У цих умовах традиційні моделі організації будівництва демонструють обмежену гнучкість і низьку продуктивність, що спонукає до радикальної трансформації управлінських, виробничих і логістичних процесів за допомогою цифрових технологій.

Виклики цифрової модернізації охоплюють декілька рівнів. На технологічному рівні йдеться про необхідність впровадження нових цифрових рішень — від Building Information Modeling (BIM) до систем управління «розумним майданчиком» (Smart Site), інтернету речей (IoT), блокчейн-технологій для контролю логістики та контрактів, а також штучного інтелекту для прогнозування ризиків, вартості та поведінки матеріалів. На організаційному рівні виклик полягає у необхідності переосмислення ролі учасників будівельного процесу, інтеграції горизонтальної взаємодії, забезпечення прозорої комунікації між замовниками, підрядниками, постачальниками та контролюючими структурами. На управлінському рівні постає потреба у формуванні нових цифрових компетенцій, стандартизації цифрових процесів і створенні цифрової культури в компаніях. Імперативи цифрової трансформації будівництва передбачають не лише заміну аналогових процесів цифровими, а повноцінне переосмислення логіки проєктування, організації та експлуатації об'єктів. Серед ключових імперативів — створення наскрізної цифрової вертикалі «від проєктування до експлуатації», розвиток систем інтегрованого управління життєвим циклом об'єкта (BIM 4D–7D), перехід до цифрової моделі адміністрування дозволів, автоматизація будівельного контролю, використання цифрових двійників (Digital Twins) для технічного моніторингу, а також впровадження елементів предиктивної аналітики та самонавчальних систем у процес управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні наукові дослідження зосереджені на впливі цифрових інновацій на стратегічний розвиток будівельних підприємств, що зумовлено зростанням ролі технологій у прийнятті управлінських рішень. У праці [1] визначено основні тренди цифрової економіки та стратегії інноваційного розвитку в будівництві. Автори [2–4] аналізують інтеграцію цифрових рішень і відкритих інновацій у бізнес-моделі компаній. Роботи [5–6] підкреслюють важливість цифрових технологій для ефективності управлінських і фінансових процесів. У дослідженнях [7–9] розглянуто цифрову трансформацію як чинник оптимізації ресурсів, витрат і фінансових

потоків. Значну увагу приділено Big Data, штучному інтелекту, блокчейн-рішенням та BIM-моделюванню як інструментам підвищення конкурентоспроможності. У працях [10–12] запропоновано аналітичні підходи до оцінки ефективності цифрових впроваджень у бізнес-процеси. Дослідження [13–14] доводять, що цифрові інновації сприяють зниженню ризиків, витрат і покращенню управління фінансовими потоками. У роботі [15] розкрито інноваційні тренди структурної трансформації систем управління та вплив технологій на організаційні моделі будівельних підприємств. Усі праці підтверджують ключову роль цифрових технологій у модернізації будівельного бізнесу, автоматизації процесів, стратегічній гнучкості та формуванні нових конкурентних переваг.

Мета статті — обґрунтувати теоретичні засади та прикладні підходи до цифрової модернізації процесів організації промислового та цивільного будівництва, з урахуванням актуальних викликів, стратегічних імперативів і індикативних орієнтирів трансформації, спрямованих на підвищення процесної зрілості, ефективності управління життєвим циклом об'єкта та формування цифрово адаптивної моделі будівельного підприємства.

Виклад основного матеріалу. Розвиток систем інтегрованого управління життєвим циклом об'єкта (BIM 4D–7D) є одним із ключових напрямів цифрової трансформації будівельного та інфраструктурного сектору. Цей підхід ґрунтується на використанні інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling — BIM), яке дозволяє об'єднати в єдиній цифровій моделі не лише геометрію та структуру об'єкта (3D), але й додаткові параметри, пов'язані з часом, вартістю, експлуатацією, енергоефективністю, ризиками та іншими життєво важливими аспектами управління проектом.

BIM 4D — це розширення базової 3D-моделі, яке додає *вимір часу*. Завдяки цьому можна візуалізувати етапи будівництва, планувати терміни виконання робіт, аналізувати наслідки затримок або зміни черговості операцій. 4D-моделювання дозволяє здійснювати *динамічне планування графіків будівництва*, узгоджувати логістику постачань і будівельних етапів, забезпечувати безконфліктність між підрядниками.

BIM 5D включає *вартісний аналіз* — поєднання з кошторисною документацією, що дозволяє автоматично обчислювати бюджети, прогнозувати витрати, порівнювати фактичні витрати з плановими. Це забезпечує *прозорість і точність у фінансовому управлінні*, дає змогу виявляти перевитрати й реагувати на економічні ризики.

BIM 6D охоплює *енергетичну ефективність та сталий розвиток*, у тому числі оцінку впливу матеріалів, варіантів проектних рішень на довкілля, використання поновлюваних джерел енергії, інтелектуальне управління ресурсами будівлі. Цей рівень особливо важливий при проектуванні «зелених» будівель, сертифікованих за системами BREEAM, LEED або DGNB.

BIM 7D — це рівень *експлуатаційного управління*, який передбачає інтеграцію з системами технічного обслуговування, управління активами (Facility Management), моніторингу технічного стану об'єкта. Тут формується *цифровий двійник*, який дозволяє управляти об'єктом протягом усього життєвого циклу — від введення в експлуатацію до реконструкції чи утилізації.

У проєкті нового медичного комплексу Meilahti в Гельсінкі застосовано BIM 4D–6D для координації будівельних етапів, зниження впливу на навколишнє середовище та ефективного використання енергії. 4D-модель дозволила оптимізувати графіки будівництва в складних умовах щільної міської забудови. Завдяки BIM 6D було забезпечено розрахунок життєвого циклу матеріалів і впровадження систем вентиляції з рекуперацією тепла, що скоротило енергоспоживання на понад 30%. У межах масштабного інфраструктурного проєкту в Лондоні в High Speed 2 (HS2) BIM 4D–7D використовується для управління складною інженерною мережею швидкісної залізниці. Завдяки 4D-моделюванню проводиться модифікація графіків будівництва залежно від сезонів, трафіку, доступу до територій. 5D дозволяє прогнозувати витрати по лотах контрактів, а 7D застосовується для подальшого обслуговування тунелів і мостів із підключенням сенсорів і систем автоматичної діагностики. У межах проєкту реновації старого житлового фонду в Берліні було застосовано BIM 5D–7D для оптимізації витрат і забезпечення довготривалого управління об'єктами. За допомогою BIM 5D було створено інтерактивні кошторисні моделі, що дозволили громаді бачити фінансові наслідки кожного архітектурного рішення. 7D використовується для управління ліфтами, даховими панелями, системами вентиляції з регулярним моніторингом, що підвищило безпеку та ефективність управління житлом. Таким чином, розвиток BIM 4D–7D перетворює класичне будівництво на *керований цифровий процес*, де кожен етап — від планування до експлуатації — прозоро моделюється, координується і оптимізується в режимі реального часу. Це знижує ризики, підвищує точність рішень і забезпечує нову якість взаємодії між усіма учасниками життєвого циклу об'єкта.

Індикативні орієнтири трансформації включають набір цифрових показників, які дозволяють вимірювати глибину та якість впровадження інновацій. Серед них — рівень інтеграції BIM у виробничі цикли, частка цифрових процедур у тендерному адмініструванні, ступінь автоматизації документообігу, відсоток об'єктів з цифровим моніторингом параметрів експлуатації, кількість навчань цифрової грамотності персоналу, ступінь використання даних для прийняття рішень. Також до орієнтирів належать коефіцієнт цифрової зрілості підприємства (на основі самодіагностики), рівень доступу до цифрової аналітики для управлінців та швидкість реагування системи на зміну даних у реальному часі.

Модель CMMI (Capability Maturity Model Integration) це багатоетапна система оцінки зрілості процесів, яка дозволяє підприємствам, зокрема будівельним, послідовно вдосконалювати свою управлінську структуру, стандартизувати діяльність, знижувати ризики і забезпечувати сталі результати. У будівельному девелопменті CMMI адаптовано як засіб оцінки *процесної впорядкованості*, тобто того, наскільки ефективно, системно та передбачувано організовані бізнес-процеси підприємства на кожному рівні реалізації проєктів.

Модель має *п'ять рівнів зрілості*, кожен із яких відображає ступінь формалізації, стандартизації та оптимізації процесів. Для кожного рівня наведено *п'ять характерних індикаторів*, які є репрезентативними саме для будівельного сектору:

Рівень 1 – Ініціальний (Initial). Підприємство працює переважно хаотично або на інтуїтивному рівні. Процеси не документовані, управлінські дії не повторювані, значною мірою залежать від особистого досвіду керівників або команди. Типові індикатори: Відсутність формалізованих процедур управління проєктами, Реактивне вирішення проблем у процесі будівництва, Значні коливання у строках і вартості реалізації об'єктів, Високий рівень незгодженості між підрозділами, Залежність від окремих виконавців або субпідрядників

Рівень 2 – Повторюваний (Managed). Певні практики починають повторюватися, процеси частково описані, ведеться базова документація, управління здійснюється на рівні окремих проєктів. Контроль здійснюється точково. Типові індикатори: Наявність стандартних шаблонів проєктної документації, Облік витрат на проєкти ведеться, але без повного бюджетного контролю, Досвід попередніх проєктів частково використовується у нових, Запроваджено прості засоби планування (Excel, MS Project), Існує початкова система контролю за підрядниками та постачальниками

Рівень 3 – Стандартизований (Defined). Процеси стають формалізованими, описаними в регламентах та інструкціях, забезпечується повторюваність результатів. На цьому рівні формується корпоративна культура управління процесами. Типові індикатори: Усі етапи проєкту мають задокументовані процедури (планування, реалізація, завершення), Єдиний стандарт проєктного управління у всіх підрозділах компанії, Впроваджено інтегровану систему управління якістю (ISO 9001), Комунікація зі стейкхолдерами стандартизована і прогнозована, Розроблено та застосовуються політики з управління ризиками

Рівень 4 – Керований кількісно (Quantitatively Managed). На цьому рівні підприємство керує процесами на основі кількісних показників, активно використовує аналітику, проводить вимірювання продуктивності, точності виконання та стабільності результатів. Типові індикатори: Використання KPI для оцінки ефективності команд і підрядників, Застосування

програмного забезпечення для моделювання строків та навантаження (Primavera, BIM 4D), Регулярний аналіз відхилень бюджету/термінів та коригування стратегії, Впроваджено Dashboards для управлінської звітності в реальному часі, Проводиться статистичний аналіз затримок, помилок, конфліктів на майданчику.

Рівень 5 – Оптимізований (Optimizing). Процеси не лише контрольовані, а й постійно вдосконалюються. Компанія впроваджує інновації, автоматизує аналіз процесів, оперативно адаптується до змін. Здійснюється самоаналіз, стратегічне прогнозування та залучення до нових практик. Типові індикатори: Постійне вдосконалення процесів на основі внутрішнього аудиту і зовнішнього бенчмаркінгу, Впровадження цифрових двійників (Digital Twin) і технологій Smart Construction, Системи машинного навчання або AI для прогнозування ризиків і оптимізації рішень, Культура знань і навчання: центри компетенцій, бібліотеки кейсів, інституційна пам'ять, Орієнтація не лише на внутрішню ефективність, а й на стійкий розвиток, ESG-показники, участь у «зеленому» будівництві

Завдяки п'ятирівневій структурі модель CMMI дозволяє будівельним підприємствам не лише оцінити поточний рівень системності, а й вибудувати *дорожню карту розвитку* (табл. 1) — з чіткими пріоритетами, індикаторами й інструментами переходу до вищих рівнів процесної зрілості. Вона також забезпечує стандартизовану основу для внутрішнього вдосконалення, підготовки до сертифікацій, залучення інвесторів і підвищення довіри з боку замовників.

Таблиця 1

Дорожня карта процесної зрілості будівельного підприємства за моделлю CMMI

Етап розвитку (CMMI)	Пріоритет	Ключові індикатори	Інструменти
Вихід з хаотичного середовища (Initial → Managed)	Створення базових процедур управління проектами та фіксація відповідальності.	Визначені ролі та функції в межах проектної команди, Поява єдиної бази шаблонів документів, Упроваджено базову систему обліку витрат і строків, Існує внутрішній наказ про регламент управління проектом, Розроблені елементарні процедури взаємодії з підрядниками	- Manual SOP (Standard Operating Procedures) Microsoft Project / Google Workspace / Excel-трекінг - Прості журнали обліку, Регламент-пам'ятка для проектної команди
Формування внутрішніх стандартів (Managed → Defined)	Уніфікація практик і введення загальних процесних регламентів для всіх підрозділів.	- Описані основні бізнес-процеси (постачання, бюджетування, тощо), • Формалізовано політику управління підрядниками - Визначено метрики відповідальності (RACI-матриці) • Існує єдиний стандарт звітності - Наявність циклічної процедури планування та звітності	- Business Process Model and Notation (BPMN) - Внутрішній довідник з управління проектами - Google Data Studio або Power BI - Форма контролю виконання регламентів

Закінчення табл. 1

Етап розвитку (СММІ)	Пріоритет	Ключові індикатори	Інструменти
Побудова централізованої системи управління (Defined → Quantitatively Managed)	Збір, зберігання і аналіз даних на основі цифрових інструментів для виведення на рівень керованої аналітики.	- Впроваджено ERP-систему або інтегровану будівельну платформу - Дані з проєктів накопичуються в уніфікованій базі - Завдяки функції контролю виконання на основі метрик продуктивності - Завпроваджено перехресний аудит ресурсних витрат - Сформовано індикатори відповідності плану/факту	- ERP-система (SAP Business One, 1С:Будівництво, Buildertrend) - Інтегровані панелі керування (Project Dashboards), - Система електронного обігу документів, - Форматована база проєктної аналітики
Оцифрування автоматизація аналізу (Quantitatively Managed → Optimizing)	Перехід від аналітики до прогнозування, впровадження механізмів безперервного вдосконалення.	- Систематичне моделювання ризиків на ранніх фазах проєктів - Прогнозування навантажень, постачань та затрат за допомогою алгоритмів, Участь працівників у внутрішніх ініціативах з покращення, Індивідуальні цифрові кабінети проєктних менеджерів - Зв'язок між проєктними ризиками та фінансовими KPI	- Predictive Analytics (Power BI, Tableau, Qlik) - Machine Learning для ризик-прогнозування - Цифрові двійники (Digital Twin Construction) Внутрішні KPI-хакатони або «Лабаторії інновацій»
Сталий розвиток і стратегічна гнучкість (оптимізована організація)	Досягнення організаційної адаптивності, стійкості та інноваційної відкритості.	- Інтеграція ESG-показників у стратегію та бюджетування - Залучення до «зелених» сертифікацій (LEED, BREEAM) - Участь у міжнародних партнерських проєктах - Побудова циклу «від зворотного зв'язку до трансформації» - Впроваджено механізми самонавчання організації	- ESG Data Reporting Platforms - BIM 6D/7D – управління життєвим циклом об'єктів - Партнерські інкубатори сталого будівництва - Системи «гнучкого бюджетування» (rolling forecasts)

Цифрова модернізація процесів організації будівництва має міждисциплінарну природу та вимагає узгодженого впровадження змін у трьох ключових площинах: технологічній (інструменти й платформи), управлінській (структура, культура, моделі прийняття рішень) та нормативній (правове середовище, стандарти, безпека даних). Успішна трансформація вимагає не лише інвестицій у технології, а й стратегічного бачення, лідерства змін, створення міжплатформних екосистем і партнерств у межах будівельного кластера. Вона є не технічною опцією, а стратегічною необхідністю для підвищення стійкості, здатності до масштабування та конкурентоспроможності будівельного підприємства.

Висновки. У результаті дослідження встановлено, що цифрова модернізація процесів організації промислового та цивільного будівництва є ключовим чинником підвищення ефективності, адаптивності та конкурентоспроможності підприємств у динамічному середовищі.

Запровадження цифрових технологій — таких як BIM 4D–7D, цифрові двійники, інтернет речей, штучний інтелект та аналітичні платформи — дозволяє формувати наскрізну систему управління життєвим циклом об'єкта. Адаптація моделі процесної зрілості CMMI до умов будівельного девелопменту дала змогу розробити п'ятирівневу систему розвитку управлінських процесів, що супроводжується чіткими індикаторами та цифровими інструментами на кожному етапі. Запропонована дорожня карта процесної трансформації забезпечує підприємствам орієнтири для переходу від фрагментованого управління до цілісної цифрової моделі. Впровадження таких підходів створює умови для стратегічної гнучкості, стабільного зростання та ефективної інтеграції до цифрового будівельного середовища.

Список використаної літератури

1. Ryzhakova, G., Pokolenko, V., Malykhina, O., Predun, K., & Petrukha, N. (2020). Structural regulation of methodological management approaches and applied reengineering tools for enterprises-developers in construction. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7560-7567.
2. Chupryna, I., Ryzhakova, G., Chupryna, K., Biloshchytskyi, A., Tormosov, R., & Gonchar, V. (2022). Designing a toolset for the formalized evaluation and selection of reengineering projects to be implemented at an enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 115(13).
3. Bielienskova, O., Ryzhakova, G., Kulikov, O., Akselrod, R., & Loktionova, Y. (2024). Formation of Organizational Change Management Strategies Based on Fuzzy Set Methods. In *Data-Centric Business and Applications: Modern Trends in Financial and Innovation Data Processes 2023. Volume 1* (pp. 251-275). Cham: Springer Nature Switzerland.
4. Івахненко, І., Чуприна, Х. М., & Рижаківа, Г. М. (2024). Інноваційне підприємництво та управління стартап-проектами. Київ : КНУБА, 40 с.
5. Івахненко І. С. (2024) Управління підприємством та моделі бізнесу в будівництві. Київ : КНУБА. 2024. 68 с.
6. Рижаківа, Г. М., Чуприна, Х. М., & Горбач, М. В. (2022). Сучасні методики викладання економічних дисциплін та використання цифрових технологій при підготовці здобувачів освіти за спеціальністю «менеджмент». *Економіко-управлінські та інформаційно-аналітичні новачії в будівництві* : IV Міжнародна науково-практична конференція. Київ : Ліра-К, 2022. С. 277 – 281.
7. Поколенко В.О., Рижаківа Г.М., Приходько Д.О. Запровадження інструментарію вибору альтернатив реалізації будівельних проєктів за функціонально-технічною надійністю організацій-виконавців. *Управління розвитком складних систем*. 2014. Вип. 19. С.104 – 108.
8. Рижаківа 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*. 2017. № 32. С. 159 – 165.

9. Рижакова, Г., Кучеренко, О., Приходько, Д., Федорова, Я., & Малихін, М. (2024). Інноваційні напрями оновлення операційних систем підприємств в умовах нестабільного бізнес-середовища девелопменту. *Просторовий розвиток*, (9), 402-413.

10. Лагутін, Г. В., Рижакова, Г. М., & Рижаков, Д. А. (2014). Сучасні моделі проектного фінансування підприємств житлового будівництва: проблеми та перспективи функціонування. *Будівельне виробництво*, (57 (2)), 57-64.

11. Рижакова, Г. М., & Малихіна, О. М. (2018). Імперативи впровадження плану заходів протидії розмиванню оподаткованої бази та виведення прибутку з-під оподаткування: національний та міжнародний дискурси. *Будівельне право: проблеми теорії і практики*, 219-224.

12. Хоменко, О., Петренко, Г., Рижакова, Г., Петруха, Н., Чуприна, Ю., Малихіна, О., & Кушнір, О. (2022). Сучасні інструменти та програмні продукти адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. *Управління розвитком складних систем*, (52), 113-125.

13. Рижакова, Г. М., & Савчук, Т. В. Імплементація сучасних стандартів обліку до процедур оновлення функціоналів менеджменту організацій. *Просторовий розвиток територій: традиції та інновації: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф.(м. Київ, 26–27 листопада 2020 р.)*. К.: ДКС Центр, 2020. 212 с. (р. 159).

14. Рижакова, Г., Петруха, С., Петруха, Н., Крупельницька, О., Гуденко, О. (2022). Агропродовольчі ланцюги доданої вартості: методологія, техніка та архітектура. *Financial and credit activity problems of theory and practice*, 4(45), 385-395.

15. Фесун А.С., Кончаківський О.І., Степанюк Р.Б., Рижакова Г.М., Федорова Я.Ю. (2024). Концептуально-аналітичні особливості забезпечення бізнес-стійкості підприємств у мультипроектному середовищі будівельного девелопменту. *Будівельне виробництво*, (77), 58-66.

16. Боліла, Н. В. (2022). Запровадження цифрових технологій управління будівельними підприємствами. *Актуальні проблеми сучасного бізнесу: обліково-фінансовий та обліково-фінансовий та управлінський аспекти*. С. 164-166.

17. Stetsenko, S.P., Tytok, V.V., Emelianova, O.M., Bielienskova, O.Yu and Tsyfra T.Yu. Management of Adaptation of Organizational and Economic Mechanisms of Construction to Increasing Impact of Digital Technologies on the National Economy. *Journal of Reviews on Global Economic*. 2020. №9. pp.149-164.

18. Akselrod, R., Shpakov, A., Ryzhakova, G., Honcharenko, T., Chupryna, I., Shpakova, H.: Integration of data flows of the construction project

life cycle to create a digital enterprise based on building information modeling. *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.* 12(01), 40–50 (2022). https://doi.org/10.46338/ijetae0122_02

19. Tytok, V., Bolila, N., Ryzhakov, D., Pokolenko, V., Fedun, I.: CALS–technology as a basis of creating modules for assessment of construction products quality, regulation of organizational, technological and business processes of stakeholders of construction industry under the conditions of cyclical and seasonal variations. *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.* 10(1), 271–276 (2021).

20. Kishchenko, T.E., Gusarova, L.V., Bolila, N.: Development methodology for implementation of construction investment projects. [Electronic resource]. *Effi. Econ.* 6, 57–61 (2018). <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6407>

21. Stetsenko, S.P., Tytok, V.V., Emelianova, O.M., Bielienskova, O.Yu & Tsyfra, T.Yu. (2021). The interrelation of digital technologies and organizational and economic mechanisms in construction: adaptation to change management. *International Review*, 1, 21-31.

22. Тугай, О. А., Поколенко, В. О., Рижакова, Г. М., Приходько, Д. О., Лагутіна, З. В., & Стеценко, С. п. (2012). Модернізовані інструменти девелоперського управління будівництвом. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, (27), 86–98.

23. Беленкова О. Ю., Гао Шаоцин Оцінка профілю девелоперської компанії (на прикладі реконструкції житлового фонду КНР). *Науковий вісник Буковинського державного фінансовоекономічного університету. Економічні науки*. Чернівці, 2015. Вип. №1(28). С. 51-54.

24. Сорокіна, Л. В. (2007). Інформаційні технології як інструмент оптимізації управління збалансованим економічним розвитком підприємства. *Актуальні проблеми економіки*, 10, 189-197.

25. Цифра, Т.Ю. (2021). ВІМ як інструмент реформування системи ціноутворення (на прикладі дорожньо-будівельних підприємств Казахстану). *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 47 (2), 168-180.

References

1. Ryzhakova, G., Pokolenko, V., Malykhina, O., Predun, K., & Petrukha, N. (2020). Structural regulation of methodological management approaches and applied reengineering tools for enterprises-developers in construction. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7560-7567.

2. Chupryna, I., Ryzhakova, G., Chupryna, K., Biloshchytskyi, A., Tormosov, R., & Gonchar, V. (2022). Designing a toolset for the formalized evaluation and selection of reengineering projects to be implemented at an enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 115(13).

3. Bielienskova, O., Ryzhakova, G., Kulikov, O., Akselrod, R., & Loktionova, Y. (2024). Formation of Organizational Change Management

Strategies Based on Fuzzy Set Methods. In *Data-Centric Business and Applications: Modern Trends in Financial and Innovation Data Processes 2023. Volume 1* (pp. 251–275). Cham: Springer Nature Switzerland.

4. Ivakhnenko, I., Chupryna, Kh., & Ryzhakova, H. (2024). Innovative Entrepreneurship and Startup Project Management. Kyiv: KNUCA, 40 p.

5. Ivakhnenko, I. S. (2024). Enterprise Management and Business Models in Construction. Kyiv: KNUCA, 2024. 68 p.

6. Ryzhakova, G. M., Chupryna, Kh. M., & Horbach, M. V. (2022). Modern Methods of Teaching Economic Disciplines and the Use of Digital Technologies in Training Students in the Specialty “Management.” Economic-Managerial and Information-Analytical Innovations in Construction: IV International Scientific and Practical Conference. Kyiv: Lira-K, 2022. pp. 277–281.

7. Pokolenko, V. O., Ryzhakova, G. M., Prykhodko, D. O. Implementation of a Toolkit for Selecting Alternatives for Construction Project Execution Based on the Functional and Technical Reliability of Contractor Organizations. *Management of Complex Systems Development*. 2014. Issue 19. pp. 104–108.

8. Ryzhakova, G. M., Prykhodko, D. O., & Predun, K. M. Models for Targeted Selection of Representative Indicators of Construction Enterprises; Activities: Etymology and Typology of Diagnostic Systems. *Management of Complex Systems Development*. 2017. No. 32. pp. 159–165.

9. Ryzhakova, G., Kucherenko, O., Prykhodko, D., Fedorova, Ya., & Malykhin, M. (2024). Innovative Directions for Updating Enterprise Operational Systems in an Unstable Development Business Environment. *Spatial Development*, (9), 402–413.

10. Lagutin, H. V., Ryzhakova, H. M., & Ryzhakov, D. A. (2014). Modern Models of Project Financing for Residential Construction Enterprises: Problems and Prospects of Functioning. *Construction Production*, (57(2)), 57–64.

11. Ryzhakova, G. M., & Malykhina, O. M. (2018). Imperatives for Implementing Measures to Counteract the Erosion of the Tax Base and Profit Shifting: National and International Discourses. *Construction Law: Issues of Theory and Practice*, 219–224.

12. Khomenko, O., Petrenko, H., Ryzhakova, G., Petrukha, N., Chupryna, Yu., Malykhina, O., & Kushnir, O. (2022). Modern Tools and Software Products for Construction Organization Administration in the Context of Management Operational System Transformation. *Management of Complex Systems Development*, (52), 113–125.

13. Ryzhakova, G. M., & Savchuk, T. V. Implementation of Modern Accounting Standards in the Procedures for Updating Management Functionalities in Organizations. *Spatial Development of Territories: Traditions and Innovations: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference* (Kyiv, November 26–27, 2020). Kyiv: DKS Center, 2020. p. 159.

14. Ryzhakova, G., Petrukha, S., Petrukha, N., Krupelnyska, O., & Hudenko, O. (2022). Agro-Food Value Chains: Methodology, Techniques, and

Architecture. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 4(45), 385–395.

15. Fesun, A. S., Konchakivskiy, O. I., Stepaniuk, R. B., Ryzhakova, H. M., & Fedorova, Ya. Yu. (2024). Conceptual and analytical features of ensuring business resilience of enterprises in a multi-project construction development environment. *Construction Production*, 77, 58–66.

16. Bolila, N. V. (2022). Zaprovadzhennia tsyfrovyykh tekhnolohii upravlinnia budivelnymy pidpriemstvamy. Aktualni problemy suchasnoho biznesu: oblikovo-finansovyi ta oblikovo-finansovyi ta upravlinskyi aspekty. S. 164-166.

17.. Stetsenko, S.P., Tytok, V.V., Emelianova, O.M., Bielienskova, O.Yu and Tsyfra T.Yu. Management of Adaptation of Organizational and Economic Mechanisms of Construction to Increasing Impact of Digital Technologies on the National Economy. *Journal of Reviews on Global Economic*. 2020. №9. rr.149-164.

18. Akselrod, R., Shpakov, A., Ryzhakova, G., Honcharenko, T., Chupryna, I., Shpakova, H.: Integration of data flows of the construction project life cycle to create a digital enterprise based on building information modeling. *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.* 12(01), 40–50 (2022).

19. Tytok, V., Bolila, N., Ryzhakov, D., Pokolenko, V., Fedun, I.: CALS–technology as a basis of creating modules for assessment of construction products quality, regulation of organizational, technological and business processes of stakeholders of construction industry under the conditions of cyclical and seasonal variations. *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.* 10(1), 271–276 (2021).

20. Kishchenko, T.E., Gusarova, L.V., Bolila, N.: Development methodology for implementation of construction investment projects. *Effi. Econ.* 6, 57–61 (2018). <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6407>

21. Stetsenko, S.P., Tytok, V.V., Emelianova, O.M., Bielienskova, O.Yu & Tsyfra, T.Yu. (2021). The interrelation of digital technologies and organizational and economic mechanisms in construction: adaptation to change management. *International Review*, 1, 21-31.

22. Tuhai, O. A., Pokolenko, V. O., Ryzhakova, H. M., Prykhodko, D. O., Lahutina, Z. V., & Stetsenko, S. p. (2012). Modernizovani instrumenty developerskoho upravlinnia budivnytstvom. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva, (27), 86–98.

23. Bielienskova O. Yu., Hao Shaotsyn Otsinka profilu developerskoi kompanii (na prykladi rekonstruktsii zhytlovoho fondu KNR). Naukovyi visnyk Bukovynskoho derzhavnogo finansovoekonomichnoho universytetu. *Ekonomichni nauky*. Chernivtsi, 2015. Vyp. №1(28). S. 51-54.

24. Sorokina, L. V. (2007). Informatsiini tekhnolohii yak instrument optymizatsii upravlinnia zbalansovanyim ekonomichnym rozvytkom pidpriemstva. Aktualni problemy ekonomiky, 10, 189-197.

25. Tsyfra, T.Iu. (2021). BIM yak instrument reformuvannia systemy tsinovtvorennia (na prykladi dorozhno-budivelnnykh pidpriemstv Kazakhstanu). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva, 47 (2), 168-180.

Stepaniuk R.B.

BIM 4D–7D as the basis for integrated lifecycle management of industrial and civil construction projects

The article explores digital modernization as a systemic response to the global challenges faced by the organization of industrial and civil construction in the context of technological transformation, market dynamics, and increasing demands for efficiency, environmental sustainability, and management quality. It is established that modernization encompasses technological, organizational, and managerial levels and involves the implementation of BIM, Smart Site technologies, IoT, digital twins, predictive analytics, and artificial intelligence tools. The necessity of forming a seamless digital vertical from design to construction and further to operation is substantiated. Particular attention is paid to the development of BIM 4D–7D systems as instruments for integrated lifecycle management of construction projects. The article presents practical examples of the application of these technologies in Finland, the United Kingdom, and Germany. Indicative benchmarks of digital transformation are identified, including the level of document workflow automation, data integration, digital literacy of personnel, and analytics maturity indicators. The article also adapts the CMMI process maturity model to the construction development sector, describing five levels of organizational process coherence — from chaotic to optimized. For each level, specific indicators and digital tools are defined. A development roadmap for process maturity is proposed, incorporating strategic priorities and digital management platforms. It is concluded that digital modernization is interdisciplinary in nature and requires synchronized changes in technical, managerial, and regulatory environments, acting as a key factor in ensuring flexibility, resilience, and competitiveness of construction enterprises in the digital era.

Keywords: *digital modernization, industrial construction, civil construction, BIM, digital twins, lifecycle management, process maturity, CMMI, Smart Construction, predictive analytics, digital transformation.*

Посилання на статтю:

АРА: Stepaniuk R. B. (2024). BIM 4D–7D як основа інтегрованого управління життєвим циклом об'єктів у промисловому та цивільному будівництві. [BIM 4D–7D as the basis for integrated lifecycle management of industrial and civil construction projects]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 53(3), 262–274.

ДСТУ: Степанюк Р. Б. BIM 4D–7D як основа інтегрованого управління життєвим циклом об'єктів у промисловому та цивільному будівництві. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. № 53(3). С. 262–274.