

ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ У СТРУКТУРУ ПІДГОТОВКИ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЄКТІВ ЯК ОСНОВА ГНУЧКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ОБ'ЄКТА

Сьогодні цифровізація будівельної галузі відбувається суттєвий перегляд підходів до управління життєвим циклом об'єкта. Особливої актуальності набуває етап підготовки будівельного проєкту, де закладається основа ефективного функціонування всієї системи управління. Інтеграція цифрових платформ у цей процес дозволяє забезпечити безперервність, прозорість та гнучкість взаємодії між усіма учасниками, формуючи умови для адаптивного реагування на зміни та оптимізації рішень на кожному етапі реалізації. Крім того, цифрові рішення формують нову управлінську парадигму, в якій аналітика в реальному часі, автоматизована комунікація та багаторівнева координація стають стандартними елементами цифрової екосистеми будівельного управління. У статті обґрунтовано необхідність поєднання таких інструментів, як BIM-моделювання, ERP-системи, цифрові двійники, платформи спільної розробки, моніторингові дашборди, сценарне моделювання та засоби автоматизованої координації рішень.

Зосереджуючись на підготовчому етапі, автори аналізують функціональні можливості цифрових платформ у забезпеченні: а) інтеграції даних про архітектурні, інженерні, правові та економічні параметри; б) візуалізації впливу прийнятих рішень на вартість, терміни й ресурси; в) узгодження дій замовників, проєктантів, експертів, муніципальних органів та підрядників. Висвітлено ключові переваги цифрових середовищ у контексті життєвого циклу об'єкта – зокрема, формування гнучких моделей управління, які враховують зміни нормативного середовища, ризики реалізації та сталого розвитку.

Також розглянуто приклади успішної імплементації цифрових платформ у проєктах міської інфраструктури, реконструкції, промислового будівництва та житлового девелопменту. Показано, що цифрова інтеграція дозволяє скоротити кількість узгоджувальних циклів, забезпечити цифрову верифікацію рішень, спростити процедури управління змінами та створити умови для динамічного оновлення документації. Автори акцентують увагу на важливості гнучких моделей – як таких, що дозволяють відмовитися від жорстко лінійного планування на користь адаптивного сценарного реагування з урахуванням змін в економіці, технологіях і запитах кінцевих користувачів.

Ключові слова: *цифрові платформи, життєвий цикл, підготовка проєктів, BIM, ERP, адаптивне управління, інформаційне моделювання, цифрова інтеграція.*

Вступ. *Цифрова трансформація будівельної галузі змінює традиційні уявлення про підготовку, управління та реалізацію будівельних проєктів. Особливо важливу*

роль у цьому процесі відіграє етап проєктної підготовки, який формує основу для всієї подальшої реалізації життєвого циклу об'єкта. Сучасні виклики – від зростання складності технічних рішень до прискорення нормативних змін та підвищених очікувань замовників – вимагають нових підходів до управління цим етапом. Відтак, інтеграція цифрових платформ у структуру підготовки проєктів стає ключовою умовою досягнення ефективності, гнучкості та прозорості управлінських процесів.

Традиційно підготовка будівництва охоплювала збір даних, проєктування, погодження та формування ресурсного базису. Однак сучасні цифрові інструменти дають змогу виконувати ці завдання з вищим ступенем інтеграції, автоматизації та аналітичної глибини. Використання BIM, ERP, CRM, платформ спільного доступу до даних, панелей KPI-моніторингу й інтелектуальних сценаріїв дозволяє створити цілісну інформаційну модель об'єкта ще до початку будівництва, передбачити ризики та розробити адаптивні сценарії реагування.

Такі трансформації змінюють і роль суб'єктів у будівельному процесі. Девелопер більше не є лише ініціатором інвестицій – він виступає інтегратором цифрових потоків, координатором мультидисциплінарних рішень і аналітичним учасником життєвого циклу. У таких умовах цифрові платформи переходять від допоміжної функції до позиції системного інструменту управління.

Актуальність розгляду інтеграції цифрових платформ у підготовчі етапи будівельних проєктів обумовлена потребою у створенні нової парадигми гнучкого управління. Це передбачає відмову від ізольованих рішень, перехід до відкритої архітектури платформи, підвищення інтегрованості, а також запровадження сценарного моделювання як основи прийняття управлінських рішень. Саме ці підходи і є предметом дослідження у межах запропонованої статті.

Актуальність. В умовах швидкої диджиталізації будівельної галузі та зростання складності інфраструктурних проєктів потреба у переході до нових методів проєктної підготовки є більш ніж очевидною. Сучасна будівельна діяльність вимагає оперативного прийняття рішень, гнучкої адаптації до змін зовнішнього середовища та мінімізації ризиків через прогнозування. Інтеграція цифрових платформ на етапі підготовки дозволяє забезпечити цілісність інформаційних потоків, синхронізацію даних, автоматизацію управлінських процедур і цифрову спадкоємність даних протягом усього життєвого циклу об'єкта.

Зважаючи на виклики часу – фрагментарність ринку, прискорене оновлення нормативно-правової бази, необхідність міжгалузевої координації та високий рівень ризиків — інтегровані цифрові середовища стають запорукою створення життєздатних, адаптивних проєктів. Їх впровадження дозволяє уникати помилок через людський фактор, забезпечувати прозору комунікацію між стейкхолдерами та підвищувати керованість складними проєктами через використання реального часу, аналітики та штучного інтелекту.

Таким чином, актуальність теми зумовлена потребою трансформації самої парадигми підготовки будівельних проєктів – від паперово-формальної до цифрово-аналітичної, від статичної до сценарно-адаптивної. Це робить дослідження інтеграції цифрових платформ не лише доцільним, але й стратегічно важливим у контексті модернізації галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Останні роки засвідчили зростання уваги дослідників до тематики цифрової трансформації будівельної галузі, зокрема в частині

впровадження BIM-моделювання, хмарних платформ управління, цифрових двійників, ERP-систем і аналітичних інструментів моніторингу проектного циклу. У працях Істмена, Сакса, Чуприни, Плис та інших [2, 4, 10] обґрунтовано роль цифрових екосистем у підвищенні ефективності будівельного управління. Проте більшість досліджень акцентують увагу або на технологічних аспектах (моделювання, візуалізація, хмарне зберігання), або на техніко-економічних показниках цифровізації.

Недостатньо вивченими залишаються питання побудови гнучкої, інтегрованої цифрової структури, яка охоплює всі стадії життєвого циклу – від концепту до експлуатації – з урахуванням адаптивного реагування, управління ризиками, ролі стейкхолдерів і динаміки даних. Також слабо розроблені механізми організаційного узгодження цифрових платформ із управлінськими процесами в умовах багаторівневої участі.

Метою цієї роботи є формування цілісного концептуального підходу до інтеграції цифрових платформ у структуру підготовки будівельних проєктів як засобу забезпечення гнучких моделей управління життєвим циклом об'єкта. Стаття має на меті дослідити організаційні, аналітичні та управлінські передумови ефективного впровадження цифрових технологій (зокрема BIM, ERP, цифрових двійників, інтелектуальних дашбордів) у підготовчий етап. У межах роботи передбачено виявлення ключових факторів, що сприяють або гальмують побудову інтегрованої цифрової екосистеми, спроможної адаптуватися до змін, забезпечувати прозору взаємодію між стейкхолдерами та формувати цифровий контур управління життєвим циклом об'єкта в режимі реального часу. Також ставиться завдання запропонувати структурну модель взаємодії цифрових платформ з етапами підготовки, проєктування, погодження та ризик-менеджменту.

Виклад основної інформації. У сучасному будівельному середовищі, що все активніше трансформується під впливом диджиталізації, ключову роль починає відігравати інтеграція цифрових платформ у структуру підготовки проєктів. Будівельна галузь, що традиційно вважалася однією з найбільш інерційних, нині стає ареною стрімкого впровадження інформаційно-комунікаційних технологій, серед яких особливе місце займають платформи управління даними, віртуального моделювання, обміну проєктною інформацією, контролю часу, ресурсів і витрат. Цифрова трансформація дає змогу не лише пришвидшити процеси підготовки, узгодження та реалізації проєктної документації, але й забезпечити аналітичну основу для формування стратегій управління життєвим циклом будівельного об'єкта.

Власне підготовка проєкту – це не лише етап генерування архітектурних чи технічних рішень, а ключова точка, в якій формуються рамкові обмеження всього життєвого циклу об'єкта: від вхідних даних щодо ділянки, нормативних обмежень, до сценаріїв експлуатації, енергозбереження, обслуговування та демонтажу. Цифрові платформи, такі як BIM (Building Information Modeling), CDE (Common Data Environment), ERP-системи та хмарні сервіси дозволяють об'єднати ці багаторівневі дані в єдиний інформаційний простір. Цей простір стає основою для прийняття управлінських рішень, починаючи з моменту підготовки ТЕО (техніко-економічного обґрунтування) і завершуючи моделлю інтелектуального управління об'єктом на стадії експлуатації [2].

Застосування гнучких моделей управління вимагає не тільки змін у структурі командної взаємодії, але й відповідної цифрової основи. Інтеграція платформ дає

змогу реалізувати такі підходи, як Agile Construction Management, Lean Design або SCRUM-модельовання для управління проектами, які раніше використовувались переважно в IT. Їхня ефективність базується на динамічному оновленні проектних параметрів, швидкому зворотному зв'язку між учасниками та адаптивному плануванні. Без централізованої цифрової системи такі підходи не мають достатньої ефективності в будівельному контексті, адже кожен елемент – від плану земляних робіт до графіка монтажу конструкцій – повинен бути узгоджений і оновлений в реальному часі [3]. Щоб наочно показати логіку взаємодії цифрових платформ у підготовці будівельного проекту, нижче подано рис. 1, який відображає їхню інтеграцію в єдину систему управління.

На основі цієї структури можна стверджувати, що цифрові платформи формують не лише інструментальне середовище для реалізації проектів, а й стратегічний контур управління, який охоплює всі фази життєвого циклу будівельного об'єкта. Особливо важливим є те, що цифрова основа дозволяє пов'язати функціональні модулі, відповідальні за планування, бюджетування, управління підрядниками, логістику, закупівлі, оцінку ризиків та контроль якості, в єдину логічну систему. При цьому саме підготовчий етап набуває нової ваги, оскільки на цьому рівні формуються дані, які автоматично використовуються в наступних фазах.

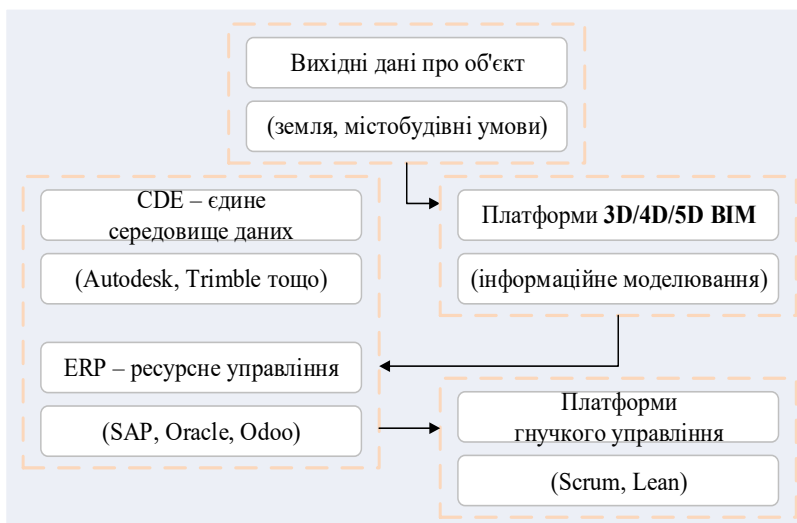


Рис. 1. Інтеграційна структура цифрових платформ у підготовці будівельного проекту (розроблено автором на основі [3])

Значну увагу сучасна наука приділяє моделі «цифрового двійника» (Digital Twin), яка починає формуватися саме на етапі підготовки проекту. Впровадження Digital Twin у практику дає змогу моделювати поведінку об'єкта до його фізичного створення, прогнозувати ризики, перевіряти різні сценарії будівництва та

управління. Таке прогнозування вкрай важливе в умовах обмеженого бюджету, жорстких регламентів і швидкоплинного ринку.

Інтеграція цифрових платформ також посилює зв'язок між проектною групою та замовником. Наприклад, за використання хмарних рішень, таких як Autodesk Construction Cloud чи PlanRadar, замовник отримує доступ до актуальних даних про стан розробки, кошторисів, графіків, технічних рішень. Це зменшує кількість змін у процесі реалізації, дозволяє своєчасно реагувати на проблеми та мінімізує управлінські ризики. Крім того, створюється цифровий архів документації, який стає основою для управління експлуатаційною фазою [1].

Інформаційна інтеграція стає не лише технологічною інновацією, а новим підходом до мислення у будівництві. Це підтверджується і роботами українських дослідників, зокрема Ю. Білик, яка зазначає, що цифровізація стає фундаментом перехідного періоду від традиційної проектної моделі до гнучких, інтелектуалізованих форм управління. Саме підготовка проектів із використанням інтегрованих платформ дозволяє забезпечити зворотний зв'язок між усіма етапами реалізації проекту, включаючи автоматизоване оновлення параметрів та перехід до концепції самонавчального об'єкта.

У новітньому будівельному середовищі цифрові технології дедалі активніше інтегруються у всі фази життєвого циклу об'єкта, і особливо важливою стає їх роль на передпроектному етапі. Сучасні інформаційні моделі не обмежуються візуалізацією або кресленнями – вони стають базисом аналітичного, сценарного й прогнозного моделювання, закладаючи параметри майбутньої експлуатації та оцінки ефективності. У цій площині концепція BIM (Building Information Modeling) уже давно вийшла за межі вузькотехнічної дисципліни, і нині її розглядають як ядро стратегічного управління об'єктом. У працях Білала Суккара, одного з провідних дослідників цифрової зрілості у будівництві, підкреслюється, що BIM має потенціал інтегрувати не лише геометричні дані, а й правові, економічні, логістичні та експлуатаційні фактори [4].

Особливо важливо, що BIM-моделі все частіше створюються ще до початку проектування на основі аналізу просторових і регуляторних умов. Це збігається з підходом так званого «pre-design analytics», що описується у роботах Чака Істмена та Рафаеля Сакса, де моделювання виконує роль обчислювальної симуляції сценаріїв на ранніх етапах, коли рішення є найбільш чутливими до змін. Уже на цьому рівні формується інформаційне ядро, яке впливає на розподіл зон функціонального навантаження, сценарії транспортного доступу, енергоефективність і навіть етапи капітального ремонту протягом експлуатації.

Для формального опису логіки багатofакторного моделювання доцільним є використання узагальненої інтегральної функції оцінки ефективності, яка може бути представлена наступним чином:

$$E_{obj} = \int_{t_0}^{tn} [w_1 \times F_s(t) + w_2 \times F_e(t) + w_3 \times F_l(t)] dt, \quad (1)$$

де E_{obj} – очікувана інтегральна ефективність проекту, $F_s(t)$, $F_e(t)$, $F_l(t)$ – функції соціальної, економічної та логістичної ефективності в часі, w_1 , w_2 , w_3 – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність критеріїв замовника або регулятора.

Завдяки таким моделям, вже на підготовчій фазі можна прогнозувати, який із варіантів розвитку об'єкта буде оптимальним за соціальним впливом, витратами чи ризиками.

Велику увагу цифрове моделювання приділяє сценарному аналізу. Відомі дослідження авторів, як Рафаеля Сакса, Урі Гуревича і Рона Траппера, демонструють, що симуляція сценаріїв у BIM-середовищі дає змогу змодельовати реакцію об'єкта на зміну параметрів навколишнього середовища – наприклад, підвищення енергетичних тарифів, зміни щільності населення чи кліматичні коливання. Власне такий тип моделювання є основою переходу від BIM до концепції цифрового двійника, що набуває популярності у світовій практиці – зокрема, у роботах Майкла Бетті, де цифрові репліки об'єктів трактується як адаптивні середовища, що самонавчаються і змінюють поведінку відповідно до зібраних даних.

Ключовою умовою передпроектного аналізу в цифровому форматі стає інтеграція BIM із геоінформаційними системами. Такі рішення, як CityEngine, InfraWorks, UrbanFootprint або ArcGIS Urban, дозволяють створити геопросторову структуру, на якій візуалізуються ризики затоплення, ступінь доступності інфраструктури, рівень шуму, забруднення, доступ до транспорту тощо. Залежно від задачі, кожен фактор може бути відображений у вигляді локалізованої карти та описаний формально як:

$$U(x, y, t) = \sum_{i=1}^n K_i(x, y) \times P_i(t), \quad (2)$$

де $U(x,y,t)$ – індекс придатності ділянки в координатах x,y момент часу t , $K_i(x,y)$ – карта значення i -го фактора (доступність, рельєф, навантаження), $P_i(t)$ – прогноз зміни цього фактора в часі.

Такі моделі застосовуються, наприклад, у концепції Smart Zoning, активно підтримуваних в ЄС (особливо в проєктах Horizon Europe), де кожна земельна ділянка аналізується через набір цифрових шарів для прийняття рішень щодо зонування, експлуатаційної ефективності й екологічної безпеки.

Важливо наголосити, що передпроектне цифрове моделювання дедалі більше працює з концепцією «value-driven design», яку підтримують такі автори, як Мартін Фішер (Стенфордський університет). У цих підходах вартість об'єкта не є фіксованим параметром, а змінною, яка моделюється залежно від сценаріїв, уподобань користувачів, клімату, витрат на експлуатацію. У такому випадку підготовчий етап розширюється до повноцінної фази оптимізації життєвого циклу об'єкта [5].

Для системного порівняння можливостей ключових цифрових платформ, що використовуються на етапі передпроектного аналізу, доцільно узагальнити їх функціональні характеристики, рівень інтеграції з BIM-середовищем, підтримку геоінформаційних рішень та здатність до сценарного моделювання. Це дозволяє не лише визначити оптимальний набір інструментів для конкретного проєкту, а й побачити ступінь їхньої відповідності до завдань формування життєвого циклу об'єкта. Як ми бачимо з табл. 1, платформи значно відрізняються за рівнем аналітичної глибини та масштабування даних у цифровому середовищі.

Порівняльна характеристика платформ для цифрового моделювання на передпроектному етапі (розроблено автором на основі [5])

Платформа	Основні функції	BIM-інтеграція	GIS-підтримка	Сценаріє моделювання
Revit + Insight	Енергоаналіз, екологічна оцінка	Повна	Часткова	Так
ArchiCAD + EcoDes.	Кліматичний вплив, CO ₂ , варіанти конструкцій	Повна	Обмежена	Так
InfraWorks	Топографія, інфраструктура, транспорт	Часткова	Повна	Так
CityEngine	Моделювання міського контексту	Мінімальна	Повна	Частково

У процесі цифрової трансформації будівельної галузі особливе значення набуває організація ефективної взаємодії між усіма учасниками проекту. Спільне середовище даних (Common Data Environment – CDE) виступає не лише технічним модулем, а й центральним інфраструктурним елементом цифрового управління. Його роль особливо важлива на передпроектному етапі, коли закладаються основи подальшого комунікаційного ланцюга між архітекторами, проєктантами, замовниками, консультантами, технічними службами та регуляторами. Згідно з аналітичним підходом, викладеним у роботах Рафаля Сакса, використання CDE дозволяє синхронізувати потоки інформації, скоротити затримки в погодженнях, зменшити кількість помилок і підвищити прозорість управлінських рішень.

Особливу увагу застосуванню CDE приділяють такі платформи, як Autodesk BIM 360, Trimble Connect та Dalux Field, які забезпечують повний контроль версій документів, динамічне відстеження змін, спільну роботу з кресленнями та можливість дистанційного погодження технічних рішень. У дослідженні Єви Петрочі відзначається, що CDE дозволяє створити спільну цифрову мову проєкту, яка зменшує фрагментацію між професійними групами та формує інтеграційне середовище на основі взаємного доступу до актуальної інформації.

Варто зазначити, що на передпроектному етапі платформи CDE дозволяють встановити загальну логіку комунікації, яка трансформується у цифрову структуру процесного управління. Моделі збереження цифрової послідовності, описані Томасом Келлі, вказують на важливість зниження рівня «інформаційного шуму» через уніфіковану систему обміну файлами. На цій основі формується якісно новий рівень процесного контролю, в якому погодження між структурними одиницями набувають темпоральної гнучкості – кожен користувач бачить статус документа, стадію затвердження, дату змін та відповідального виконавця [6].

З математичного погляду CDE-середовище може бути змодельоване як функція підвищення інформаційної цілісності проєкту при зменшенні часу затримок і кількості версій. Це дозволяє представити ефективність цифрової взаємодії наступною формулою:

$$R_{eff}(t) = R_{max} \times \left(1 - \frac{V(t)}{V_{lim}}\right) \times e^{-k \times T_d(t)}, \quad (3)$$

де $R_{eff}(t)$ – ефективність цифрової взаємодії на момент часу t , R_{max} – максимальна теоретична ефективність при ідеальній синхронізації, $V(t)$ – кількість незакритих (незатверджених) версій документів, V_{lim} – гранично допустима кількість версій, після якої система втрачає керуваність, $T_d(t)$ – часова затримка в ухваленні рішення, k – коефіцієнт динаміки зростання втрат при затримці.

Ця формула дозволяє побудувати інтегровану модель ефективності комунікацій у цифровому середовищі. Подібні підходи реалізовані у практиці компанії Skanska та Acur, де цифрові платформи CDE інтегруються з управлінськими модулями ERP, формуючи єдиний інформаційно-керований контур [11].

Особливо показовим є приклад розробок, описаних Майклом Бетті, у яких CDE поєднується із системами машинного аналізу змін (change analytics), що дозволяє автоматизувати виявлення конфліктів, дублювань або помилок в кресленнях ще до їх затвердження. Таким чином, CDE стає не лише структурною оболонкою, а аналітичним ядром управлінської моделі в будівництві.

Щоб візуалізувати логіку цифрової координації між учасниками проєкту, нижче подано рис. 2, який охоплює всі ключові ролі на етапі підготовки.

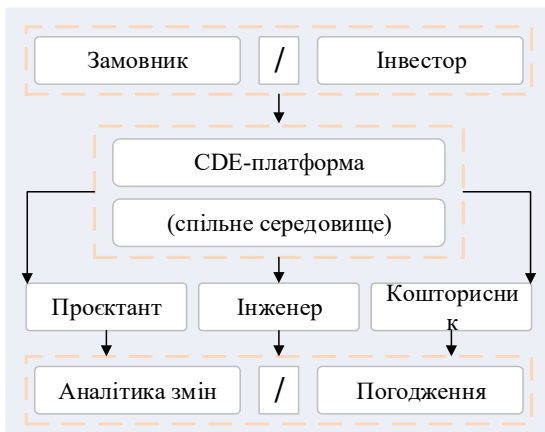


Рис. 2. Логіка взаємодії учасників проєкту через CDE (розроблено автором на основі [7])

У сучасному підході до управління підготовчими етапами будівельних проєктів ключову роль відіграє пов'язана інтеграція цифрових платформ, що забезпечують з'єднання моделювання, координації та управління ресурсами. Якщо BIM-платформи забезпечують геометричну та функціональну модель об'єкта, а CDE – єдине середовище доступу до проєктної інформації, то ERP-системи (Enterprise Resource Planning) інтегрують дані про вартість, бюджет, людські ресурси, матеріали та ризики. Саме взаємодія ERP із BIM і CDE формує базу для повного контролю над техніко-економічною частиною будівельного процесу ще до початку фізичного будівництва [7].

На підготовчому етапі ERP-системи дозволяють створювати симуляційні моделі витрат і розподілу ресурсів відповідно до параметрів, закладених у BIM-

модель. Через CDE-середовище дані про графіки виконання, очікувані поставки матеріалів, резерви часу та вартості синхронізуються між усіма учасниками. Таким чином, формується єдина цифрова логіка проєкту, в якій будь-яка зміна параметра (наприклад, зростання вартості матеріалу або коригування площі забудови) автоматично оновлює бюджет, строки та обсяг ресурсів. Це дозволяє не лише підвищити точність управлінських рішень, а й виявляти конфлікти або дисбаланси ще на підготовчій фазі.

ERP-системи типу SAP, Oracle Primavera, Microsoft Dynamics або Odoo можуть бути інтегровані з BIM за допомогою відкритих стандартів (наприклад, IFC), що забезпечує обмін даними в реальному часі. Це дає змогу створити повноцінну цифрову модель проєктного планування, у якій усі ресурси, завдання, графіки та витрати поєднані з просторово-часовою структурою об'єкта. При цьому CDE-платформа стає каналом передачі всієї цієї інформації між учасниками – від генпідрядника до логістичних підрозділів і фінансових аналітиків.

В результаті створюється багаторівнева цифрова структура управління, де ERP-системи формують «економічне ядро», BIM – «технічний скелет», а CDE – «комунікаційний кровообіг». Така модель дозволяє здійснювати динамічне планування сценаріїв: що буде при затримці доставки, при зміні обмінного курсу, при дефіциті матеріалу чи зміні графіку виконання робіт. Усе це формує стійкий контур управління життєвим циклом будівельного об'єкта ще до початку фізичних дій [8].

Щоб краще зрозуміти, як функціонально розподіляються завдання між BIM, CDE та ERP у цифровому середовищі підготовки проєктів, нижче подано табл. 2 та їхніх ролей на різних рівнях управління.

Таблиця 2

Порівняння функцій BIM, CDE та ERP у цифровому управлінні підготовкою будівельного проєкту (розроблено автором на основі [8])

Рівень управління	BIM	CDE	ERP
Технічне планування	3D/4D/5D моделі	Обмін кресленнями, коментарі	Прив'язка ресурсів до технічних етапів
Документальний обіг	Імпорт специфікацій	Зберігання, версії, погодження	Формування договірних даних
Календарне планування	Моделювання часу (4D)	Спільне редагування графіків	Генерація графіку закупівель
Вартість і бюджет	Обсяги робіт з моделі (5D)	Узгодження кошторисів	Бюджетування, кошторис, контроль витрат
Управління ризиками	Симуляція змін	Повідомлення про відхилення	Ризик-аналіз, сценарії, резерви бюджету

Продовжуючи аналіз після таблиці, важливо відзначити, що така інтегрована структура, де BIM, CDE та ERP працюють як взаємопов'язані цифрові модулі, дає змогу забезпечити не лише технічну та економічну узгодженість, а й гнучкість адаптації до змін. В умовах турбулентного будівельного середовища, де часто виникають нові виклики, пов'язані з постачанням матеріалів, зміною валютних курсів, оновленням регламентів або політичною нестабільністю, саме цифрова взаємодія між платформами стає інструментом стабільності й передбачуваності [9].

Наприклад, у випадку виявлення ризику зриву графіку поставки бетонних сумішей, ERP-система фіксує затримку, що автоматично передається в BIM-середовище, де відповідно змінюється календарно-мережевий план. Одночасно ця інформація через CDE надходить усім зацікавленим учасникам: технічному директору, логісту, замовнику й фінансовому аналітику. Це дозволяє оперативно прийняти коригувальні дії – змінити підрядника, змістити графік суміжних робіт або оперативно погодити використання альтернативних матеріалів. Усе це відбувається в єдиному цифровому просторі, без втрати часу на паперові повідомлення чи фрагментарну комунікацію.

Цифрове середовище управління дає можливість також побудови так званих «what-if» сценаріїв. На етапі підготовки проєкту можна змоделювати вплив будь-якого зовнішнього чинника – інфляції, енергетичної кризи, збільшення вартості підрядних робіт – і миттєво побачити його ефект на загальний бюджет, строки реалізації та обсяг доступних ресурсів. Це дозволяє сформувати стратегічну матрицю рішень і створити декілька альтернативних планів дій залежно від зовнішніх умов [10].

Значною перевагою цієї інтеграції є також формування «цифрового сліду» проєкту – послідовного запису всіх дій, змін, погоджень, варіантів і рішень, що фіксуються автоматично в ERP та CDE. У разі виникнення суперечок, затримок або потреби в аудиті, ця інформація стає джерелом об'єктивної правди. Зрештою, така цифрова історія проєкту формує довіру між усіма сторонами – інвестором, підрядником, технічним наглядачем, регулятором – і підвищує інституційну прозорість будівельного процесу.

Крім того, інтеграція ERP, BIM та CDE дає змогу реалізувати принципи сталого будівництва, які вимагають детального аналізу всіх ресурсів, енергоспоживання, вуглецевого сліду та варіантів переробки. Через цифрову зв'язку ці показники можуть бути закладені ще на етапі підготовки, оцінені в часовій динаміці, а також пов'язані з конкретними підрядниками, технологіями або матеріалами. Це підвищує екологічну відповідальність і робить управлінське рішення не лише ефективним, а й стійким.

Висновок.

Результати проведеного аналізу засвідчують, що інтеграція цифрових платформ у структуру підготовки будівельних проєктів є критично важливою умовою формування гнучкої, адаптивної та ефективної системи управління всім життєвим циклом об'єкта. Цифрові технології надають змогу створити єдине інформаційне середовище, яке поєднує управлінські функції, аналітичні інструменти, прогнозування ризиків, сценарне моделювання і засоби взаємодії між усіма учасниками процесу в реальному часі. Вони забезпечують не лише оптимізацію технічної та організаційної координації, але й формують нову логіку ухвалення управлінських рішень, базовану на актуальних даних і зворотному зв'язку.

Інтеграція цифрових платформ трансформує підготовчий етап із формальної технічної процедури на стратегічну складову управління проєктом, яка визначає подальшу ефективність реалізації. Зокрема, цифрові інструменти дозволяють структурувати і стандартизувати обмін інформацією, пришвидшити погодження проєктних рішень, мінімізувати людський фактор і скоротити часові витрати. Важливою є також можливість вбудовування в цифрову архітектуру таких модулів, як календарно-ресурсне планування, дашборди прийняття рішень, модулі

сценарного прогнозування ризиків, індикатори KPI та автоматизовані системи верифікації даних.

Зміна парадигми управління полягає у відході від фрагментарного планування до гнучких, циклічних моделей, де рішення коригуються динамічно відповідно до змін зовнішнього та внутрішнього середовища. Це відкриває нові можливості для адаптивного керування проектом, впровадження безперервного аналізу та підвищення стійкості до ризиків. Особливого значення набуває формування цифрового ядра підготовчого етапу, що інтегрує аналітичну, технічну й організаційну функціональність в єдину інформаційно-керувану систему.

Список літератури:

1. Суккар Б. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*. 2009. Vol. 18, No. 3. Pp. 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
2. Істмен Ч., Сакс Р., Ліссон Т., Лаветт П. Довідник BIM: Посібник з інформаційного моделювання для замовників, менеджерів, проєктувальників, інженерів і підрядників. Вид. 3. К.: Будінформ, 2021. 658 с. URL: <https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook%2C+3rd+Edition-p-9781119287537>
3. Yuan, Chenxi & Li, Shuai & Cai, Hubo & Kamat, Vineet. GPR Signature Detection and Decomposition for Mapping Buried Utilities with Complex Spatial Configuration. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2018. Vol. 32, No. 4. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000764](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000764)
4. Sacks R., Radosavljevic M., Barak R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, 2010, Volume 19, Issue 5, pp. 641-655. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.010>.
5. Lai J., Wan R., Chong H.-Y., Liao X. Digital Intelligence in Building Lifecycle Management: A Mixed-Methods Approach. *Sustainability*, 2025, Vol. 17(11), p. 5121. <https://doi.org/10.3390/su17115121>
6. Zhang S., Tang Y., Zou Y. et al. Optimization of architectural design and construction with integrated BIM and PLM methodologies. *Scientific Reports*, 2024, 14, 26153. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75940-x>
7. Ma R. Application of BIM technology in whole life cycle management of assembled buildings. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 2024, 9(1). DOI:10.2478/amns-2024-0679
8. Рижаківа Г., Приходько Д., Поколенко В., Петруха Н., Чуприна Ю., Хоменко О. Оновлення науково-методичних підходів до побудови полікритеріальної системи адміністрування діяльністю підприємств-стейкхолдерів проєктів будівництва. *Просторовий розвиток*, 2022, (1), 218–233.
9. Mahajan G., Narkhede P. Integrating BIM with Digital Technology Trends in the Construction Industry: Implementation Insights for 2023. *Library Progress International*, 2024, Vol. 44(3), p. 20283–20308. DOI: <https://doi.org/10.48165/bapas.2024.44.2.1>
10. Chupryna I., Tormosov R., Abzhanova D., Ryzhakov D., Gonchar V., Plys N. Scientific and Methodological Approaches to Risk Management of Clean Energy Projects Implemented in Ukraine on the Terms of Public-Private Partnership. *2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Nur-Sultan, Kazakhstan, 2022, pp. 1-8. doi: 10.1109/SIST54437.2022.9945809

11. Arayici Y., Egbu C. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction*, 2011. Vol.20(2), p. 189. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.004 d

Mykhailo MALYKHIN

Integration of digital platforms into the structure of construction project preparation as a basis for flexible life cycle management models

Today's digitalization of the construction sector is leading to a fundamental revision of approaches to life cycle management of built assets. The project preparation stage is acquiring particular relevance, as it lays the foundation for the effective functioning of the entire management system. Integrating digital platforms into this process ensures continuity, transparency, and flexibility of interaction among all stakeholders, creating conditions for adaptive response to change and optimized decision-making at each implementation phase. Moreover, digital solutions are forming a new management paradigm where real-time analytics, automated communication, and multi-level coordination become standard elements of the construction management digital ecosystem. This article substantiates the necessity of combining such tools as BIM modeling, ERP systems, digital twins, collaborative design platforms, monitoring dashboards, scenario modeling, and automated decision coordination mechanisms.

Focusing on the preparatory phase, the authors analyze the functional capabilities of digital platforms in ensuring: (a) the integration of data on architectural, engineering, legal, and economic parameters; (b) visualization of the impact of decisions on cost, timelines, and resources; (c) coordination of actions among clients, designers, experts, municipal authorities, and contractors. The key advantages of digital environments are outlined in the context of the object's life cycle – in particular, the formation of flexible management models that account for regulatory changes, implementation risks, and sustainable development.

The paper also explores successful examples of digital platform implementation in urban infrastructure, reconstruction, industrial construction, and residential development projects. It is demonstrated that digital integration helps reduce the number of coordination cycles, enables digital verification of decisions, simplifies change management procedures, and creates the conditions for dynamic documentation updates. The authors emphasize the importance of flexible models – as those that allow a shift away from rigid linear planning in favor of adaptive scenario-based responses that consider changes in the economy, technology, and end-user demands.

Keywords: digital platforms, life cycle, project preparation, BIM, ERP, adaptive management, information modeling, digital integration.