

ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕС УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЄКТАМИ: АНАЛІТИЧНИЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИЙ ВИМІРИ

Інтеграція цифрових технологій у процес управління будівельними проєктами формує нову парадигму планування, контролю та прийняття рішень у галузі. Розвиток діджитал-платформ, штучного інтелекту, систем IoT, ERP та BIM-технологій перетворює класичні статичні моделі управління на динамічні, аналітично орієнтовані системи, здатні реагувати на зміни в реальному часі. Цифровізація забезпечує формування безперервного інформаційного потоку між усіма учасниками проєктного циклу, створює умови для автоматизованого перепланування робіт, оптимізації ресурсів і управління ризиками.

Ключову роль у цьому процесі відіграють інтелектуальні платформи, що реалізують принцип переконфігурувального планування. Вони забезпечують оперативну адаптацію графіків і процедур контролю залежно від змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі. Такий підхід дозволяє підвищити точність прогнозування строків і вартості, зменшити кількість відхилень та підвищити прозорість у реалізації проєктів. Інтеграція технологій IoT, штучного інтелекту та хмарних рішень створює можливості для аналітичного керування у режимі реального часу.

Сценарне моделювання, цифрові двійники (Digital Twins) і системи GIS стають базою для формування прогнозних сценаріїв розвитку проєктів. Вони дозволяють не лише моделювати альтернативні варіанти реалізації, а й оцінювати ризики, формувати стратегії реагування та створювати передумови для стійкості будівельного підприємства до непередбачуваних змін. У результаті інтеграція цифрових технологій в управління будівництвом забезпечує перехід від реактивного до проактивного управління, де рішення ухвалюються на основі реальних даних і аналітичних моделей.

Таким чином, сучасна цифрова екосистема управління будівельними проєктами поєднує інструменти прогнозування, аналізу, оптимізації й контролю, формуючи комплексну архітектуру, здатну самостійно адаптуватися до нових умов. Це відкриває перспективи для створення «розумних» будівельних підприємств, де кожен елемент – від проєктування до експлуатації – підпорядкований єдиній інформаційно-аналітичній логіці.

Ключові слова: *цифровізація, управління проєктами, будівництво, штучний інтелект, BIM, цифрові двійники, сценарне моделювання, IoT.*

Вступ. Управління будівельними проєктами зазнає глибоких змін у зв'язку з переходом до цифрових форматів планування, контролю та координації процесів. У минулому основна увага приділялася нормативному плануванню, жорстким графікам і фіксованим методам контролю, які базувалися на ручних розрахунках та

звітах. Однак сучасні умови будівельної діяльності – висока динамічність ринку, зростання складності об'єктів, потреба в гнучкому реагуванні – вимагають нових інструментів управління.

Цифрова трансформація будівництва розглядається як ключовий чинник підвищення ефективності проєктів і стійкості підприємств. Використання цифрових технологій дозволяє інтегрувати всі етапи життєвого циклу об'єкта – від проєктування до введення в експлуатацію – у єдине інформаційне середовище. Впровадження штучного інтелекту, аналітики великих даних, IoT і BIM-моделювання забезпечує новий рівень точності, прогнозованості та автоматизації управлінських процесів. Таким чином, цифрова інтеграція в управлінні будівництвом виступає не лише технологічним, а й концептуальним зрушенням, що формує основу для побудови адаптивних систем, здатних до самонавчання та оперативного реагування на зміни зовнішніх і внутрішніх параметрів середовища.

Актуальність. Сьогодні ефективність управління будівельними проєктами безпосередньо залежить від рівня цифрової зрілості підприємства. Традиційні методи контролю та звітності не здатні забезпечити потрібну швидкість обробки даних і точність прийняття рішень у реальному часі. Постійні зміни економічних, ресурсних і регуляторних факторів роблять управління без цифрових інструментів неефективним.

Актуальність теми зумовлена необхідністю інтеграції аналітичних систем, що поєднують інформаційне моделювання, інтелектуальні алгоритми та сценарне прогнозування. Саме ці технології дають змогу виявляти ризики до їхнього настання, здійснювати адаптивне перепланування робіт і підтримувати баланс між строками, якістю та вартістю. Цифрова інтеграція стає базою для конкурентоспроможності підприємств, що діють у турбулентному ринковому середовищі.

Постановка проблеми. Попри активний розвиток цифрових рішень, значна кількість будівельних підприємств і надалі використовує фрагментовані або частково автоматизовані системи управління. Це призводить до затримок у плануванні, дублювання даних, недостатньої координації між учасниками проєкту. Відсутність єдиної цифрової платформи створює ризики розривів у комунікаціях і ускладнює контроль за виконанням робіт. Проблема полягає в необхідності комплексної інтеграції технологій, які забезпечують наскрізну взаємодію між етапами планування, реалізації й контролю. Без переходу до цифрової аналітики управління будівельними процесами залишається реактивним і неефективним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділених невіршених раніше частин загальної проблеми. Багато сучасних досліджень присвячено цифровій трансформації будівельної галузі, впровадженню BIM-технологій, ERP-систем та IoT-платформ. У наукових працях доведено, що застосування аналітичних модулів, цифрових двійників і машинного навчання дозволяє зменшити помилки в плануванні та скоротити строки реалізації. Однак більшість досліджень зосереджена на технічних аспектах і недостатньо розкриває управлінсько-аналітичну інтеграцію, що передбачає взаємодію між штучним інтелектом, інформаційним моделюванням та системами контролю. Невирішеним залишається питання створення цілісних архітектур управління, які поєднують процеси аналізу, планування, перепланування й прогнозування в єдиній системі.

Метою цієї статті є теоретичне та прикладне обґрунтування інтеграції цифрових технологій у систему управління будівельними проєктами. Мета полягає у виявленні ключових елементів цифрової екосистеми управління – від аналітичних

модулів до штучного інтелекту – та в розробленні підходів до їхнього узгодження в єдину архітектуру. Особлива увага приділяється питанням сценарного моделювання, автоматизованого перепланування та формування системи рефлексивного управління, яка здатна адаптуватися до змін середовища в режимі реального часу.

Виклад основної інформації. У сучасному будівельному середовищі спостерігається активна трансформація підходів до планування та контролю проєктів. Ця трансформація зумовлена поширенням діджитал-адаптованих технологій, які суттєво змінюють класичні функції управління проєктомним циклом. У центрі змін перебувають концепції гнучкого реагування на зміну умов реалізації проєктів, підвищення точності прогнозування строків і вартості, а також автоматизація системного контролю за виконанням робіт.

На відміну від традиційних статичних схем, які базувалися на фіксованих графіках, стандартизованих контрольних точках і ручному коригуванні, діджитал-підходи дозволяють будівельним компаніям здійснювати динамічне, даноцентричне управління проєктом. Розгортання інтелектуальних цифрових модулів дає змогу формувати самокорегувальні плани, адаптувати сценарії реалізації до актуальних умов і синхронізувати міжфункціональні підрозділи компанії в режимі реального часу. Це дозволяє змінювати вектор виконання окремих фаз проєкту, коли змінюються зовнішні або внутрішні обставини: дефіцит ресурсів, зміна регуляторного середовища, порушення логістики, нові вимоги замовника [1].

Однією з центральних особливостей таких технологій є опора на цифрові платформи, що поєднують візуальне моделювання, систему управління завданнями, модулі автоматизованого обліку ресурсів, хмарні сховища даних, сенсорні засоби моніторингу та алгоритми прогнозування ризиків. Цей підхід дозволяє здійснювати наскрізний контроль за проєктом – від етапу концептуального планування до фактичного введення об'єкта в експлуатацію, при цьому відслідковуючи усі відхилення від базового сценарію та миттєво адаптуючи операційні задачі.

Щоб краще проілюструвати принципову відмінність класичних і діджитал-адаптованих підходів до контролю будівельних проєктів, подаємо рис. 1 нижче.

Окрім основ технологічного контролю, діджитал-адаптовані технології формують нову культуру прийняття рішень у будівельному управлінні. Завдяки впровадженню алгоритмічного управління ризиками, аналітики великих даних, штучного інтелекту та систем business intelligence, підприємства отримують можливість оцінювати тисячі варіантів розвитку подій та обирати найоптимальніші шляхи виконання проєкту на базі статистично обґрунтованих моделей. У той самий час, автоматичне оновлення календарно-мережевих графіків відповідно до стану матеріально-технічного забезпечення, погодних умов чи зміни підрядних бригад дозволяє тримати проєкт у межах узгоджених термінів та бюджету.

Такі системи впроваджуються через архітектуру цифрових платформ – зокрема, проєктно-орієнтованих ERP, модулів управління за методологією Earned Value Management (EVM), цифрових дашбордів реального часу, IoT-систем моніторингу будівельних майданчиків. Усі ці технології синхронізуються через API-з'єднання та формують єдиний інформаційний простір – не лише для керівників проєктів, а й для виконавців на місцях, логістичних операторів, підрядників, аудиторів і замовників [2].



Рис. 1. Відмінності між традиційними та діджитал-адаптованими системами контролю будівельних проектів (розроблено автором на основі [1])

Таким чином, опрацювання змін у системах управління будівельними проектами із застосуванням діджитал-адаптованих технологій означає не лише автоматизацію функцій планування, а радикальне переосмислення самої логіки керування будівництвом. Модель стає більш аналітичною, гнучкою, прогновною, а також орієнтованою на ефективну взаємодію між всіма учасниками життєвого циклу об'єкта.

У процесі діджиталізації будівельного сектору особливе місце займають інтелектуальні цифрові платформи, здатні не лише створювати початкові плани будівництва, а й автоматично їх адаптувати залежно від внутрішніх і зовнішніх змін. Суть таких платформ полягає у їх здатності до переконфігурувального планування (англ. reconfiguration planning) – коли на підставі моделі ризиків, обмежень ресурсів чи погоди план коригується без участі людини, максимально швидко та ефективно.

Технологічний фундамент таких платформ складають предиктивна аналітика, штучний інтелект (ШІ), інтеграція потоків з BIM-моделі, ERP-систем та IoT-пристроїв. Це забезпечує не просто автоматизацію окремих процесів, а аналітичну самоконтрольовану систему, яка може одночасно аналізувати кілька

версій плану, оцінювати варіанти дій та реалізовувати найоптимальніший сценарій виконання будівельного проєкту.

За даними Калайди А. В. та Пана М. П., що досліджували цифрові двійники будівельних систем на платформі Azure, такі технології дозволяють суттєво підвищити стійкість інфраструктурних об'єктів до зміни експлуатаційного середовища за рахунок оновлення ресурсних параметрів моделі в режимі реального часу [1].

Щоб акцентувати відмінності між традиційними та сучасними підходами до перепланування будівельних проєктів в умовах змінного середовища, доцільно систематизувати основні характеристики обох підходів у таблиці 1. Це дозволяє чітко простежити, які саме аспекти управління зазнають трансформації внаслідок імплементації інтелектуальних цифрових платформ, зокрема в частині адаптивності, інтеграції та швидкості реагування.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика класичного і цифрового перепланування в будівельних проєктах

Параметр	Класичне планування	Інтелектуальна цифрова платформа
Формування графіка	Фіксований, ручне коригування	Автоматизоване, гнучке
Виявлення відхилень	Післяфактум, за звітами	У реальному часі, прогнозно
Прогнозування ризиків	Суб'єктивне, ручне	Аналітичне, з AI
Інтеграція з іншими системами	Обмежена або відсутня	Повна: BIM, ERP, IoT, SCM
Реакція на зміни	Затримана, потребує часу	Миттєва, автоматична
Варіанти сценаріїв	Один базовий сценарій	Декілька змодельованих маршрутів

Джерело: розроблено автором на основі [3]

Ключовим елементом таких платформ є цифрові двійники будівельних об'єктів – точні віртуальні моделі, що поєднують фізичні дані в реальному часі з інтелектуальною аналітикою. Так, дослідження Калайди та Пана показують, що навколо платформи Azure Digital Twins будується система управління «живим» цифровим образом об'єкта, що забезпечує постійне оновлення стану та надання рекомендацій для коригування плану.

Застосування таких платформ суттєво змінює корпоративні процеси будівельних підприємств [3]:

1. Миттєве оновлення графіків у разі відхилень;
2. Оптимізація ресурсного забезпечення (люди, техніка, матеріали);
3. Зниження простоїв, ресурсоемності та ризиків;
4. Підвищення внутрішньої координації між підрозділами;
5. Зростання прозорості для замовників та інвесторів.

Таким чином, інтелектуальні цифрові платформи з автоматизованим переплануванням стають не просто інструментом, а основою нової архітектури управління у будівництві. Вони дозволяють будувати проєкти в умовах змін не просто ефективно, а стратегічно стійко, забезпечуючи максимальну адаптивність та давати цифрову перевагу в конкурентному середовищі.

У рамках цифрової екосистеми управління будівельними ресурсами особлива роль належить системам цифрової диспетчеризації – інтелектуальним рішенням,

що формують ядро оперативного контролю підприємства. Це не просто облікова платформа, а динамічна модульна система, яка вловлює будь-які зміни на майданчику та оперативно реагує на них через аналіз даних у реальному часі.

Сучасні рішення побудовані на інтеграції GPS/GNSS-трекерів, RFID і QR-міток, IoT-сенсорів, підключених до ERP/BIM-систем, що дає змогу автоматично розпізнавати зміни у роботі техніки, переміщенні матеріалів, графіках змін і ресурсному завантаженні. Такі диспетчерські модулі здійснюють проактивний моніторинг, вловлюючи перші ознаки відхилень і запобігаючи зривам у графіках.

За результатами досліджень Калайди А.В. і Пана М.П., побудова диспетчерських середовищ на базі цифрових двійників (digital twins) забезпечує точне відстеження ресурсів і подій у реальному часі, покращуючи точність коригування планів без ручного втручання. Щоб наочно відобразити структуру сучасної системи цифрової диспетчеризації в контексті управління будівельними ресурсами, доцільно подати у вигляді рис. 2. Він дозволяє простежити взаємозв'язки між джерелами даних, центральним диспетчерським ядром та механізмами прийняття управлінських рішень у реальному часі.



Рис. 2. Функціональна структура цифрової диспетчеризації ресурсів у будівництві
(розроблено автором на основі [4])

Ці системи є центральним планово-контрольним модулем: вони вловлюють сигнали про технічні збої, дефіцити матеріалів чи людських ресурсів та миттєво коригують плани, забезпечуючи постійну відповідність проектним параметрам. Диспетчерський центр стає мозком, що інтегрує інформацію від сенсорних мереж, ERP/BIM-інструментів і виконавців на майданчику.

Подібні платформи вже використовуються в ключових інфраструктурних проєктах, де від реального часу отримання даних залежить ритм виконання

будівельно-монтажних робіт. Зокрема, використання можливостей автоматичного перенаправлення техніки або переміщення матеріалів дозволяє ефективно реагувати на позапланові події – наприклад, зміну погоди, трафік або затримку постачання.

Як показує досвід Калайди А. В. та Пана М. П., застосування платформи цифрової диспетчеризації на основі Azure Digital Twins забезпечує зниження часу реагування на відхилення на 30–40%, що суттєво підвищує стабільність робочих процесів [12].

Управління складними будівельними проєктами в умовах зростаючої невизначеності все більше потребує не лише динамічного контролю, а й передбачення розвитку подій із використанням цифрових інструментів. У цьому контексті ключову роль відіграє сценарне моделювання, що дозволяє будівельним підприємствам формувати декілька альтернатив розвитку подій та відповідно адаптувати ресурси, графіки й логістику. Йдеться не про стандартне планування, а про інструмент «what-if», який вбудований у цифрові екосистеми і використовує штучний інтелект, цифрові двійники, моделі на основі великих даних і просторово-часові прогнози [5].

Цифрові інструменти такого типу відзначаються гнучкістю і швидкістю реакції на зміни, що робить їх незамінними у ситуаціях, коли, наприклад, змінюються умови постачання, погіршуються погодні умови чи виникає затримка від субпідрядника. Відповідно, підприємство формує не один варіант розвитку, а кілька – із розрахунком ймовірності їх настання та набором заходів на випадок кожного сценарію. Сценарне моделювання змін у будівельних проєктах потребує узгодженої роботи між джерелами даних, цифровими моделями та алгоритмами прогнозування. Щоб краще зрозуміти послідовність і логіку цих дій, нижче подано рис. 3, який відображає ключові етапи сценарного аналізу.

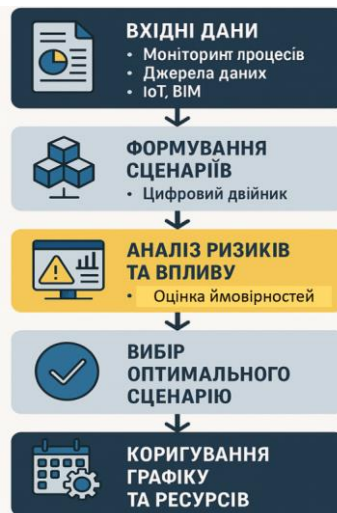


Рис. 3. Архітектура сценарного моделювання змін у будівельному середовищі
(розроблено автором на основі [5])

На практиці сценарне моделювання охоплює такі типи даних, як інформація з GPS-трекерів, метеорологічні прогнози, аналітика проєктного ризику, історичні шаблони відхилень, дані про потужності субпідрядників, а також обмеження щодо логістики. Ці дані вводяться в цифрові модулі, які дозволяють формувати симуляції у BIM-середовищі, використовувати Digital Twin для віртуального моделювання реакції на зміну, або застосовувати машинне навчання для прогнозу наслідків змін [6].

Реалізація таких симуляцій уже використовується у великих інфраструктурних проєктах. Наприклад, у рамках міжнародних консорціумів транспортного будівництва застосовуються модулі, що дозволяють враховувати вплив від зміни підрядника або подовження терміну постачання матеріалів. Завдяки використанню сценарних платформ, замовник ще на етапі ранньої зміни бачить прогнозований вплив на строки і вартість, що відкриває нові горизонти для управління ризиками. Щоб конкретизувати інструментальну базу сценарного моделювання в будівництві, нижче наведено таблицю 2, яка вказує на сучасні цифрові платформи, які використовуються для прогнозування змін та перепланування дій у проєктному середовищі.

Таблиця 2

Цифрові інструменти сценарного моделювання у будівельних проєктах

Тип інструменту	Ціль використання	Приклад систем
Сценарні модулі у BIM	Моделювання графіку з урахуванням змін	Autodesk Revit + Navisworks
Digital Twin симулятори	Імітація змін на майданчику та в ресурсному середовищі	Siemens NX + Teamcenter
AI-прогнозери ризиків	Оцінка вірогідності зриву проєкту за історичними шаблонами	IBM Watson AI Builder
Аналітичні платформи з ML	Виявлення закономірностей у відхиленнях виконання	Power BI з ML Toolkit
GIS-інтегровані системи	Прогнозування ризиків у прив'язці до просторових факторів місцевості	ArcGIS Pro з BIM Add-in

Джерело: розроблено автором на основі [6]

Використання представлених у таблиці інструментів відкриває новий рівень проєктного управління, де цифрове середовище виступає не лише як джерело інформації, а як активний учасник ухвалення рішень. Зокрема, застосування BIM-модулів зі сценарними функціями дозволяє не просто оновлювати графіки виконання робіт, а й генерувати альтернативні варіанти їх реалізації в залежності від зовнішніх і внутрішніх умов. Такі функції особливо важливі в умовах багатофакторного ризикового середовища, де швидка реакція на зміну стає визначальним чинником ефективності.

Цифрові двійники (Digital Twins), в свою чергу, забезпечують можливість симуляції проєктного процесу з точністю до одиниць часу та ресурсів, дозволяючи будівельним підприємствам прогнозувати конфлікти та перевантаження до їх фактичного виникнення. Завдяки цьому підприємство може ухвалити оптимальне рішення щодо перерозподілу техніки, робочої сили чи постачання без зупинки або затримки в реальному виконанні робіт.

Інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання в аналітичні панелі дає змогу формувати складні прогнозні моделі на основі історичних і поточних даних. Наприклад, при виявленні тренду частих затримок у доставці певних видів

матеріалів у конкретні регіони система автоматично генерує попередження й пропонує альтернативні логістичні рішення або резервування ресурсів. Це дозволяє будівельному підприємству діяти проактивно, а не реактивно, що значно підвищує загальну стійкість проєкту.

GIS-інтегровані платформи додають до цього інструментарію просторово-часовий вимір, що особливо актуально в будівництві інфраструктурних або лінійних об'єктів. Вони дозволяють прогнозувати ризики з урахуванням природних умов, геології місцевості, близькості до об'єктів критичної інфраструктури або сезонних факторів, таких як паводки чи зсуви [7].

Усі ці інструменти, об'єднані в єдину цифрову архітектуру управління будівництвом, створюють умови для інтелектуального сценарного управління, що охоплює як макро-, так і мікрорівні планування. Тобто зміни можуть прогнозуватися та відслідковуватися як на рівні загального плану проєкту, так і на рівні окремих етапів або підрозділів. Таким чином, реалізується концепція інформаційно-адаптивного проєктного управління, де цифрові моделі не тільки відображають стан об'єкта, але й формують підґрунтя для стратегії дій у майбутньому [11].

Як результат, будівельні компанії, що активно використовують сценарне моделювання, не лише знижують витрати і ризики, але й суттєво підвищують конкурентоспроможність, адаптуючи свої процеси до викликів динамічного ринку. Це робить впровадження зазначених технологій не просто корисним, а необхідним для тих, хто прагне стабільного розвитку і ефективного управління в умовах постійної невизначеності.

В умовах наростаючої складності будівельних проєктів питання контролю виконання робіт виходить за межі простого звіряння із календарним планом. Сучасні цифрові підходи базуються на постійній синхронізації фактичних даних з репозитаріями, у яких зберігаються повноцінні цифрові відображення об'єктів, ресурсів, логістичних потоків та історії змін. Такі репозитарії, сформовані на основі даних з BIM-систем, SCADA-модулів, IoT-сенсорів та аналітичних платформ, стають ядром цифрової екосистеми управління, що дозволяє автоматично виявляти відхилення, порушення послідовностей та критичні ризики.

Одним із ключових ефектів інтеграції цих даних із системами контролю є можливість динамічного перерахунку ризиків – тобто не лише фіксації проблем, а й активної оцінки їхнього впливу на подальший хід проєкту. Наприклад, зміна темпів монтажу на певній ділянці може спричинити затримку у суміжних процесах, що в умовах обмеженого постачання матеріалів формує каскадні ризики. Якщо ці зміни автоматично потрапляють у цифрову репрезентацію (репозитарій), система одразу запускає оновлення матриць ризиків і адаптує графік виконання [8].

Для того щоб більш чітко окреслити функціональні зв'язки між системами контролю виконання будівельних робіт та цифровими репозитаріями даних, доцільно звернутись до порівняльного аналізу їхніх ролей у процесі управління ризиками. У таблиці 3, яка знаходиться нижче, подано ключові компоненти інтеграції, їхнє функціональне призначення та приклади конкретних впливів на ризик-середовище в будівельному проєкті. Це дозволяє виявити не лише технологічний зміст таких систем, а й їхню роль у формуванні проактивного та динамічного управлінського підходу.

Таблиця 3

Взаємозв'язок систем контролю робіт і репозитаріїв даних у контексті управління ризиками

Компонент інтеграції	Функціональне призначення	Приклад впливу на ризики
IoT-сенсори прогресу	Передача фактичної інформації про виконані об'єми	Затримка в бетонуванні → ризик замерзання конструкції
SCADA-моніторинг обладнання	Відстеження режимів роботи техніки та механізмів	Перевантаження крану → ризик аварії або простою
Хмарні BIM-репозитарії	Зберігання та порівняння проєктної й фактичної геометрії	Відхилення в положенні елементів → ризик несумісності
Панелі динамічної оцінки KPI	Візуалізація критичних показників виконання (час, вартість, якість)	Перевищення бюджету по підрозділу → ризик втрати маржі
AI/ML-модулі ризик-аналізу	Оцінка ймовірності розвитку сценаріїв за історичними даними	Комбінація погодних умов і затримок → ризик зупинки

Джерело: розроблено автором на основі [8]

Інтеграція зазначених компонентів створює передумови для рефлексивного управління, коли система не лише фіксує факт відхилення, а й ініціює дії щодо його усунення або адаптації плану. Цей підхід змінює філософію управління з реактивної на проактивну: об'єкт не просто підпорядковується зміні, а отримує змогу структуровано й цілеспрямовано на неї реагувати. Зокрема, репозитарії, які оновлюються в режимі реального часу, можуть бути під'єднані до сценарних модулів, що дає змогу оцінювати варіанти рішень без необхідності ручного втручання [10].

Це також забезпечує основу для впровадження автоматизованих рішень про перепланування, які здійснюються на основі набору тригерів: якщо, наприклад, три показники перевищують встановлені межі, система блокує подальше виконання критичного шляху та формує новий маршрут із перерозподілом ресурсів. Таким чином, цифрова модель проєкту стає не лише базою даних, а й активним учасником управління ризиками, що оперативнo адаптується до зовнішніх і внутрішніх викликів [9].

У практичному вимірі така інтеграція дозволяє будівельним підприємствам значно скоротити обсяги неузгоджених дій, повторного виконання, аварійних рішень та неефективного використання ресурсів. Крім того, система дає змогу вести цифровий архів усіх ризиків і реакцій на них, що стає цінною базою для наступних проєктів та формування стандартів цифрового управління в галузі. Це не лише покращує результативність, а й створює основу для перехідної уніфікації ризик-менеджменту в масштабах усього підприємства.

Висновок.

Цифрова інтеграція управління будівельними проєктами створює умови для переходу до нової управлінської парадигми – аналітично-адаптивної. На відміну від традиційних методів, сучасна цифрова модель поєднує інструменти автоматизації, прогнозування та самонавчання. Завдяки використанню цифрових двійників, систем IoT, BIM і штучного інтелекту забезпечується безперервна взаємодія між усіма рівнями управління – від стратегії до оперативного виконання.

Інтелектуальні цифрові платформи дозволяють формувати сценарії розвитку подій, передбачати ризики та коригувати дії без участі людини. Це підвищує стійкість і ефективність підприємства, знижує ресурсні втрати та забезпечує контроль над усіма аспектами будівництва. Аналітичні системи на основі машинного навчання формують рефлексивну модель управління, що не лише фіксує зміни, а й ініціює рішення для їх усунення або адаптації.

Отже, інтеграція цифрових технологій у сферу управління будівельними проектами є ключовим чинником модернізації галузі. Вона забезпечує створення стійких, прогнозованих і самонавчальних систем, які здатні працювати в умовах постійних змін і невизначеності. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення стандартів цифрової взаємодії, уніфікацію платформ та формування методик оцінювання ефективності цифрового управління.

Список літератури:

1. Калайда А.В., Пан М.П. Цифровий двійник будівельного об'єкта на основі Microsoft Azure Digital Twins. *Інформаційні технології і комп'ютерна інженерія*. 2021. № 3 (54). С. 38–45. URL: <http://itce.knu.ua/article/view/235796>
2. Левківський О.Ю. Цифрова трансформація управління проектами у будівництві: концептуальні засади: монографія. Київ: НУБіП України, 2020. 214 с. URL: <https://nubip.edu.ua/node/124007>
3. Вахович І., Дем'яненко О., Дубінін Д. Методичні та практичні підходи і принципи впровадження BIM-технологій у діяльність учасників будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2023, 51(1), 290–299. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51\(1\).290-299](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51(1).290-299)
4. Shpakova, H., Chupryna, I., Ivakhnenko, I., Zinchenko, M., & Plys, N. (2024). Tools for assessing the competitiveness of a construction company as a contractor in public-private partnership projects. In *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)* (pp. 473–481).
5. Вахненко Т.О. Застосування інформаційних технологій для адаптивного перепланування виробничих систем у будівництві. *Сучасні технології в будівництві*. 2023. № 2. С. 30–37. URL: <https://journals.nupp.edu.ua/stb/article/view/2918>
6. Olanipekun O. O. Facilitating digital transformation in construction – a systematic review of the current state of the art. *Frontiers in Built Environment*. 2021. Vol. 7. DOI:10.3389/fbuil.2021.660758
7. Liu Z., Ding R., Gong Z., Ejohwomu O. Fostering digitalization of construction projects through integration: a conceptual project governance model. *Buildings*. 2023. Vol. 13(3). DOI:10.3390/buildings13030825
8. Tung Y.H., Chia F.C., Yong F. Y. Exploring the usage of digital technologies for construction project management. *Planning Malaysia*, 2021, Vol. 19(3), pp. 13–22.
9. Halder, S., Afsari, K., & Akanmu, A.A. (2024). A Robotic Cyber-Physical System for Automated Reality Capture and Visualization in Construction Progress Monitoring. ArXiv, abs/2402.07034. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.07034>
10. 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.
11. Torzoni M., Tezzele M., Mariani S., Manzoni A., Willcox K.E. A digital twin framework for civil engineering structures. *Computer Methods in Applied Mechanics and*

Engineering, 2024, Volume 418, Part B, 116584.
<https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116584>.

12. Castañeda K., Sánchez O., Peña C.A., Herrera R.F., Mejía G. BIM Uses for Mitigating Deficiencies in Road Scheduling Planning. *Sustainability*, 2025, Vol. 17, № 6, 2729. DOI:10.3390/su17062729

Valeriy KOLOMIETS

Integration of digital technologies into the process of construction project management: analytical and informational dimensions

The integration of digital technologies into the process of construction project management forms a new paradigm of planning, control, and decision-making in the industry. The development of digital platforms, artificial intelligence, IoT systems, ERP, and BIM technologies transforms classical static management models into dynamic, analytically oriented systems capable of responding to changes in real time. Digitalization ensures the creation of a continuous flow of information among all participants in the project cycle, providing conditions for automated rescheduling of works, resource optimization, and risk management.

A key role in this process is played by intelligent platforms that implement the principle of reconfigurable planning. They enable rapid adaptation of schedules and control procedures depending on changes in the external and internal environment. This approach allows for improved forecasting accuracy of time and cost, reduced deviations, and greater transparency in project implementation. The integration of IoT technologies, artificial intelligence, and cloud solutions creates opportunities for analytical management in real time.

Scenario modeling, digital twins, and GIS systems form the basis for developing predictive scenarios of project development. They make it possible not only to model alternative implementation options but also to assess risks, formulate response strategies, and create prerequisites for the resilience of construction enterprises to unforeseen changes. As a result, the integration of digital technologies into construction management ensures the transition from reactive to proactive management, where decisions are made based on real data and analytical models.

Thus, the modern digital ecosystem of construction project management combines tools for forecasting, analysis, optimization, and control, forming a comprehensive architecture capable of self-adaptation to new conditions. This opens prospects for creating “smart” construction enterprises, where every element – from design to operation – is subordinated to a unified information and analytical logic.

Keywords: *digitalization, project management, construction, artificial intelligence, BIM, digital twins, scenario modeling, IoT.*