

DOI: 10.32347/2076-815x.2026.91.353-365

УДК 69.003:004.9

Балабан О.М.,

ban994@gmail.com, ORCID:0009-0004-8951-6798,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ І BIM-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІНСЬКИХ ПРОЦЕСІВ НА ЕТАПАХ БУДІВЕЛЬНОГО ЦИКЛУ

Інтеграція цифрових платформ і BIM-технологій у сучасному будівництві розглядається як системний інструмент оптимізації управлінських процесів на всіх етапах будівельного циклу — від проектування до експлуатації об'єктів. У статті обґрунтовано, що поєднання централізованих цифрових платформ управління з інформаційним моделюванням будівель забезпечує формування єдиного інформаційно-управлінського середовища, в межах якого прийняття рішень набуває доказового, прогнозного та адаптивного характеру. Показано, що цифрові платформи виконують роль інтеграційного ядра, акумулюючи дані щодо строків, ресурсів, витрат і ризиків, тоді як BIM-технології забезпечують високоточну просторово-часову репрезентацію об'єкта будівництва та можливість багатоваріантного аналізу управлінських сценаріїв.

У роботі акцентовано увагу на здатності інтегрованих рішень знижувати невизначеність управління, мінімізувати помилки планування та забезпечувати оперативне коригування відхилень у реальному часі. Розглянуто застосування математичних моделей прогнозування строків, витрат, ризиків і використання ресурсів, які можуть бути реалізовані на базі цифрових платформ у поєднанні з BIM-моделями. Наведені аналітичні залежності дозволяють кількісно оцінювати ефективність управлінських рішень і порівнювати альтернативні варіанти організації будівельних процесів.

Ключові слова: цифрові платформи; BIM-технології; управління будівельними проєктами; будівельний цикл; оптимізація витрат; управління ризиками; інформаційне моделювання; ефективність управління.

Постановка проблеми: Сучасні будівельні проєкти характеризуються високим рівнем складності, багатоваріантністю рішень і значною кількістю учасників, що ускладнює процеси координації, контролю та прогнозування результатів. Традиційні підходи до управління будівельними процесами часто ґрунтуються на фрагментованих інформаційних потоках, що призводить до несвоєчасного виявлення відхилень, перевитрат ресурсів і зростання ризиків. За

таких умов управлінські рішення приймаються реактивно, без можливості повноцінного аналізу альтернатив і довгострокових наслідків.

Використання цифрових платформ та BIM-технологій окремо вже довело свою ефективність, однак відсутність їх глибокої інтеграції обмежує потенціал впливу на управлінські процеси. Невирішеною залишається проблема формування єдиного інформаційно-аналітичного контуру, в межах якого дані про об'єкт, ресурси, строки, витрати та ризики були б узгоджені й доступні для прийняття рішень у реальному часі. Це зумовлює необхідність наукового обґрунтування інтеграції цифрових платформ і BIM як цілісної управлінської системи, здатної забезпечити оптимізацію процесів на всіх етапах будівельного циклу.

Метою статті є наукове обґрунтування підходів до інтеграції цифрових платформ і BIM-технологій з метою оптимізації управлінських процесів на етапах будівельного циклу. Досягнення поставленої мети передбачає аналіз функціональної ролі цифрових платформ і BIM у системі управління проектами, визначення механізмів їх поєднання в єдине інформаційно-управлінське середовище, а також узагальнення можливостей використання математичних моделей для оцінювання строків, витрат, ризиків і ефективності управлінських рішень. Особлива увага приділяється виявленню практичних ефектів інтеграції зазначених технологій та обґрунтуванню доцільності їх системного впровадження у сучасні будівельні проекти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: В сучасних наукових дослідженнях значна увага приділяється впровадженню BIM-технологій як інструменту підвищення ефективності проектування, будівництва та експлуатації об'єктів. У працях зарубіжних авторів BIM розглядається як засіб зниження кількості помилок, підвищення точності планування та покращення взаємодії між учасниками проекту. Окремий напрям досліджень присвячено оцінюванню економічних ефектів BIM, зокрема скороченню витрат і тривалості будівельних робіт.

Паралельно розвивається науковий дискурс щодо цифрових платформ управління будівельними проектами, які аналізуються як інструменти централізації даних, автоматизації планування та моніторингу виконання робіт. Дослідники відзначають їхню роль у забезпеченні прозорості управлінських процесів і підвищенні оперативності прийняття рішень. Водночас більшість публікацій розглядає BIM і цифрові платформи переважно відокремлено, без комплексного аналізу їх інтеграції. Недостатньо опрацьованими залишаються питання формалізації управлінських ефектів від поєднання BIM і цифрових платформ, а також застосування математичних моделей для кількісної оцінки строків, витрат і ризиків в межах інтегрованих систем.

Виклад основної інформації: Інтеграція цифрових платформ і BIM (Building Information Modeling) технологій у будівельному секторі є важливим кроком до підвищення ефективності управління будівельними процесами. Цифрові платформи дозволяють зібрати всі дані, необхідні для прийняття управлінських рішень, в одному місці, а BIM-технології надають можливість працювати з тривимірними моделями, що дозволяє здійснювати проектування, будівництво та експлуатацію з високою точністю [10].

Ці технології дозволяють значно знижувати витрати на різних етапах будівельного циклу та зменшувати ризики, пов'язані з помилками у плануванні та виконанні робіт. Зокрема, на етапі проектування можна за допомогою BIM створювати точні моделі, які дозволяють оптимізувати використання ресурсів та визначати потенційні проблеми ще до початку будівництва. Інтеграція цифрових платформ і BIM дозволяє з'єднати всі етапи будівельного циклу в єдину систему, де кожен етап контролюється і оцінюється в реальному часі, що забезпечує оперативне коригування будь-яких відхилень.

Цифрові платформи, які використовуються в будівництві, можуть охоплювати всі етапи від планування до експлуатації будівель. Вони включають в себе різні інструменти для управління проектами, моніторингу витрат і ресурсів, а також для автоматизації планування і прогнозування результатів. Одним з основних типів цифрових платформ є платформи для керування проектами, такі як Procore, Buildertrend та інші, що дозволяють здійснювати всі операції, пов'язані з управлінням проектами, через єдину систему [1].

BIM-технології, у свою чергу, дають змогу створювати тривимірні моделі будівель, які можна інтегрувати в управлінські системи. BIM дозволяє за допомогою цифрових моделей здійснювати візуалізацію, симуляцію, а також передбачати можливі помилки або недоліки на етапі проектування.

Одним із важливих аспектів інтеграції цифрових платформ та BIM є можливість прогнозування тривалості будівництва. Ось математична модель для оцінки прогнозованого строку завершення будівельного проєкту з урахуванням ризиків:

$$T_{proj} = \sum_{i=1}^n (t_i + R_i \times \Phi(\mu_i, \sigma_i)), \quad (1)$$

де T_{proj} — прогнозований час завершення проєкту, t_i — планова тривалість для i -ї роботи, R_i — коефіцієнт впливу ризику для i -ї роботи, $\Phi(\mu_i, \sigma_i)$ — функція нормального розподілу для кожної роботи з математичним сподіванням μ_i і стандартним відхиленням σ_i [2].

Цифрові платформи і BIM-технології можуть також бути використані для точнішого прогнозування витрат на будівництво. Розглянемо наступну формулу для оцінки витрат на різних етапах:

$$C_{total} = \sum_{i=1}^n (C_i + D_i \times (E_i \times F_i)), \quad (2)$$

де C_{total} — загальні витрати на будівництво, C_i — базові витрати на кожну роботу, D_i — коефіцієнт додаткових витрат для кожної роботи, E_i і F_i — параметри, що коригують витрати в залежності від умов.

Ця модель дозволяє враховувати всі можливі додаткові витрати на кожному етапі, включаючи коригування за допомогою BIM для оптимізації ресурсів.

Для наочності, можна представити як на рисунку 1, для порівняння витрат на етапах будівництва до та після інтеграції BIM. Такий графік дозволить візуально оцінити ефективність впровадження технологій в плануванні витрат [3].

BIM-технології дозволяють значно покращити управлінські процеси на кожному етапі будівельного циклу. Від проектування до експлуатації, використання 3D моделей і інтеграція з цифровими платформами допомагає не лише скоротити витрати, а й значно покращити ефективність управління проектами.

На етапі проектування BIM дозволяє створювати точні 3D моделі будівель, які включають всі аспекти будівельного процесу — від конструктивних елементів до інженерних систем. Це дозволяє забезпечити високий рівень точності і уникнути помилок при виготовленні та установці компонентів.

Завдяки BIM також можна створювати детальні календарні плани, враховуючи всі етапи будівництва і необхідні ресурси. Окрім того, використання цифрових платформ для планування дозволяє проводити автоматичне коригування в залежності від зміни умов або ресурсних обмежень.

На етапі будівництва BIM-технології забезпечують повний контроль за виконанням робіт. Вони дозволяють в реальному часі моніторити стан проекту, перевіряти відповідність виконаних робіт плану, а також оцінювати, чи відбуваються відхилення від термінів або бюджету. Інтеграція з цифровими платформами дозволяє автоматично коригувати план будівництва і перенаправляти ресурси в разі потреби [4].

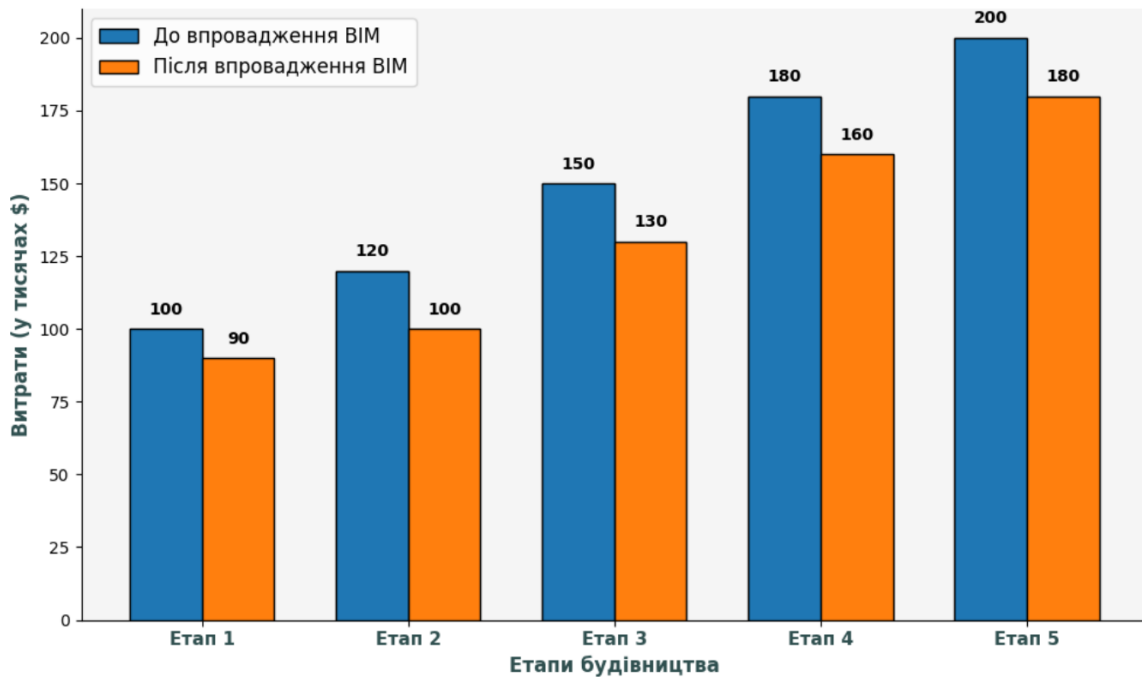


Рис. 1. Порівняння витрат до та після впровадження BIM на етапах будівництва (розроблено автором на основі [3])

Один з найбільш важливих аспектів при використанні BIM — це оцінка та управління ризиками. Оскільки будівельні проекти мають численні джерела невизначеності, інтеграція цифрових платформ та BIM дозволяє на ранніх етапах моделювати різні сценарії та оцінювати ймовірність настання різних ризиків.

Ось одна з можливих формул для оцінки ризику на кожному етапі будівництва:

$$R_{proj} = \sum_{i=1}^n (P_i \times (A_i \times B_i)), \quad (3)$$

де R_{proj} — загальний ризик для проекту, P_i — ймовірність виникнення ризику на i -му етапі, A_i — ступінь впливу ризику на етапі, B_i — фактор корекції для кожного ризику.

Ця формула дозволяє визначити загальний ризик для проекту, враховуючи ймовірність виникнення кожного ризику та його потенційний вплив на виконання проекту.

Для візуалізації оцінки ризиків побудований рисунок 2, що показує ймовірність виникнення ризиків на різних етапах будівництва [4].

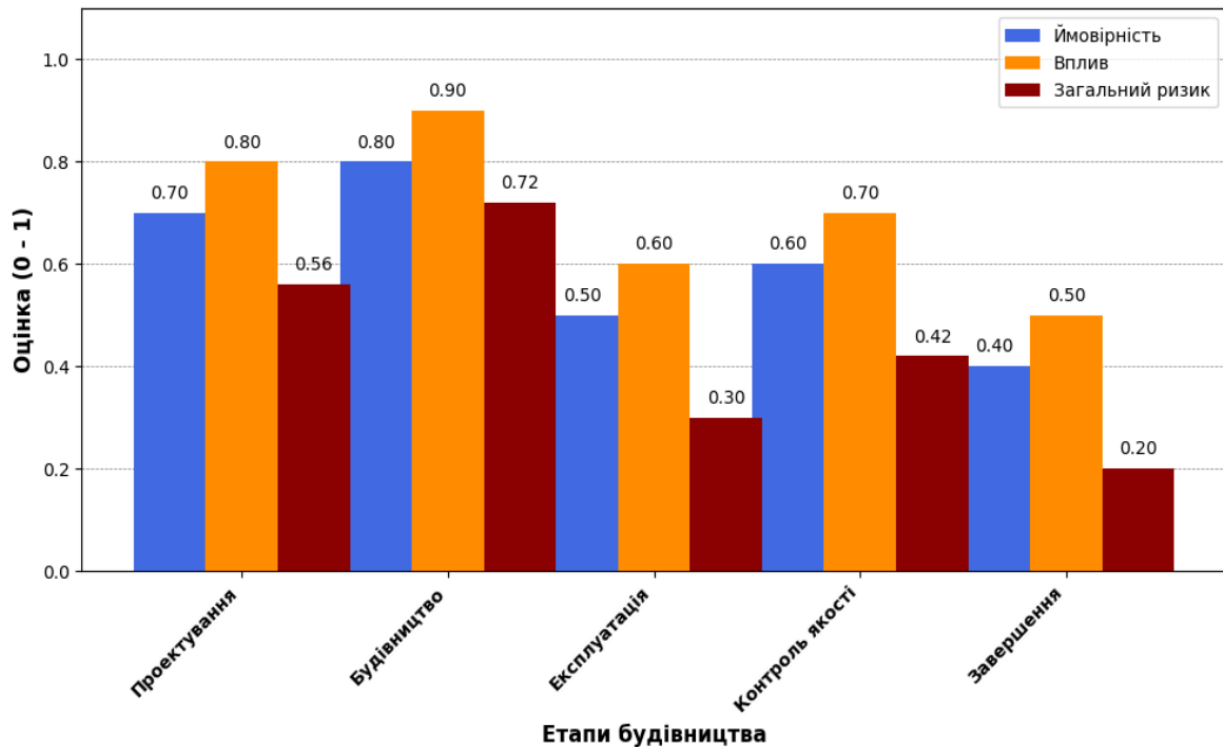


Рис. 2. Оцінка ризиків на етапах будівництва
(розроблено автором на основі [4])

Інтеграція BIM і цифрових платформ дозволяє більш точно прогнозувати використання ресурсів. Ось формула для оптимізації використання ресурсів, яка може бути використана на всіх етапах будівництва:

$$U_{opt} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i \times T_i)}{C_{total}}, \quad (4)$$

де U_{opt} — оптимізація використання ресурсів, R_i — ресурси для i -ї роботи, T_i — час для i -ї роботи, C_{total} — загальна вартість будівництва.

Ця формула дозволяє оцінити ефективність використання кожного ресурсу на етапі будівництва та скоригувати план, щоб мінімізувати витрати.

Щоб візуалізувати використання ресурсів, побудований рисунок 3, який показує, як кожен ресурс розподіляється на різних етапах будівництва [5].

Один із важливих аспектів при впровадженні BIM та цифрових платформ — це зниження витрат на етапах проектування, будівництва та експлуатації. Використання цифрових технологій дозволяє значно зменшити витрати, оптимізувати використання ресурсів і знизити ймовірність виникнення помилок. Для порівняння витрат створена таблиця 1, яка відображає різницю у витратах до і після застосування BIM-технологій [6].

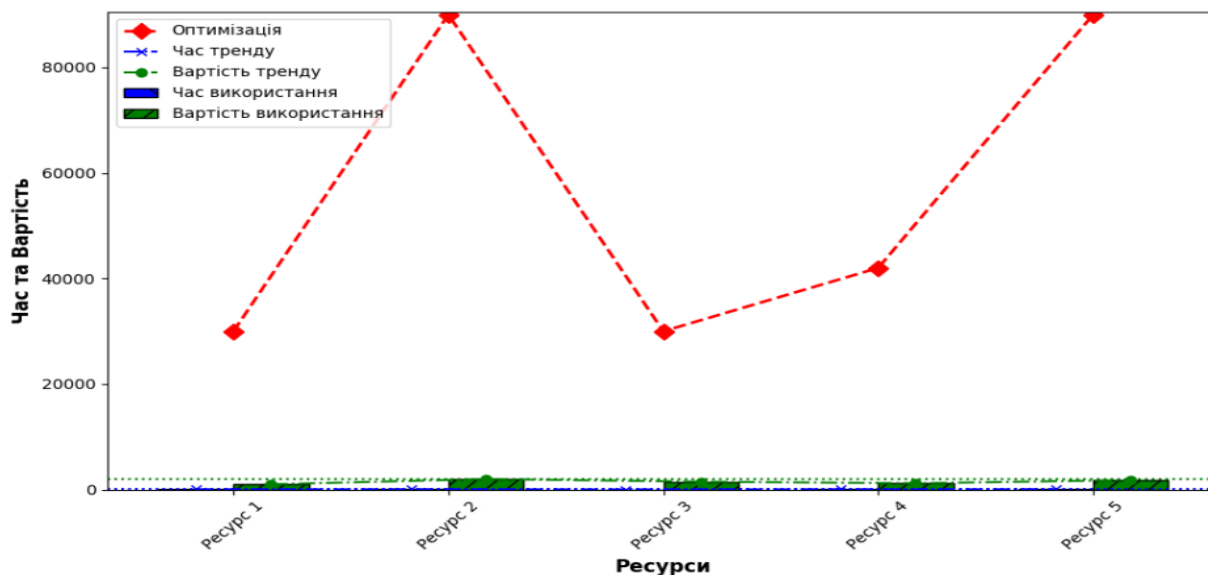


Рис. 3. Діаграма оптимального використання ресурсів на різних етапах будівництва з урахуванням часу, вартості та коефіцієнта оптимізації (розроблено автором на основі [5])

Для того, щоб оцінити ефективність впровадження BIM-технологій та цифрових платформ, можна використати таку формулу для визначення загальної ефективності процесів:

$$P_{eff} = \sum_{i=1}^n \left(P_i \times \left(1 + \frac{C_i}{C_{total}} \right) \right), \tag{5}$$

де P_{eff} — загальна ефективність впровадження технологій, P_i — ефективність кожного етапу, C_i — витрати на етапи, C_{total} — загальні витрати на будівництво. Ця формула дозволяє врахувати економію витрат на кожному етапі будівництва і таким чином розрахувати загальну ефективність від впровадження цифрових платформ.

Таблиця 1.

Порівняння витрат до та після впровадження BIM-технологій (розроблено автором на основі [6])

Етап будівництва	Витрати до BIM (тис. грн)	Витрати після BIM (тис. грн)	Економія (%)
Проектування	500	350	30%
Закупівля матеріалів	2000	1800	10%
Будівництво	5000	4500	10%
Контроль за якістю	300	200	33.3%
Експлуатація	1000	800	20%
Загальна економія	7800	6650	14.6%

Щоб продемонструвати вплив BIM на ефективність, представлений рисунок 4, який показує, як змінюється ефективність управління в залежності від застосування BIM [7].

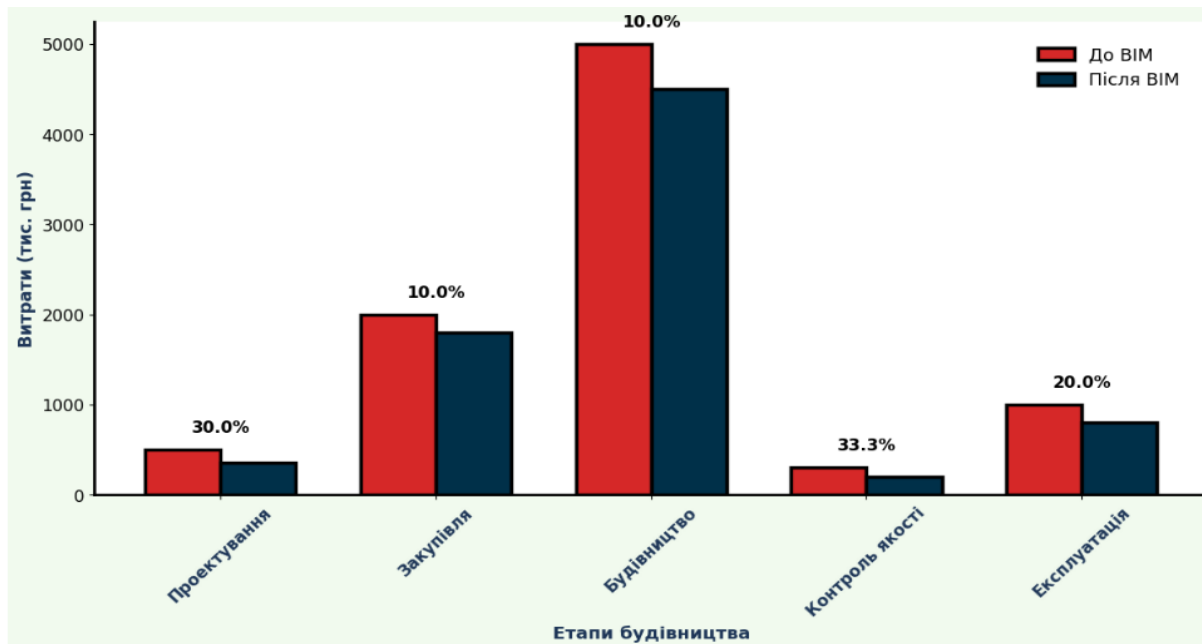


Рис. 4. Оцінка ефективності впровадження BIM-технологій: порівняння витрат до та після інтеграції (розроблено автором на основі [7])

У практичній частині роботи розглянемо конкретний будівельний проєкт, на якому була впроваджена інтеграція цифрових платформ і BIM. Це може бути як великий інфраструктурний проєкт, так і невелике будівництво, яке включає різні етапи: проектування, будівництво та експлуатація.

Припустимо, ми розглядаємо проєкт будівництва багатоквартирного житлового комплексу. Цей проєкт включає всі етапи: від попереднього планування до передачі об'єкта в експлуатацію. Використання BIM дозволяє створити детальну 3D модель всіх елементів будівлі, що дозволяє точно оцінити потреби у матеріалах, ресурсах і часі.

Завдяки інтеграції цифрових платформ було здійснено автоматичне коригування планів будівництва в реальному часі, що дозволило знизити витрати на управління ресурсами і забезпечити більш ефективне використання робочої сили та матеріалів [8].

Завдяки застосуванню цифрових технологій вдається знизити витрати на проектування на 30%, на контроль якості — на 33,3%, а загальна економія витрат складає 14,6%. Окрім того, скорочення часу на етапах будівництва і проектування дозволяє пришвидшити завершення проєктів, що, в свою чергу, знижує загальні витрати і підвищує ефективність управлінських процесів.

Таблиця 2 демонструє значні переваги впровадження BIM.

Таблиця 2.

Порівняння часу та витрат на етапах будівництва до та після впровадження ВІМ (розроблено автором на основі [8])

Етап будівництва	Час до ВІМ (міс.)	Час після ВІМ (міс.)	Зниження часу (%)	Витрати до ВІМ (тис. грн)	Витрати після ВІМ (тис. грн)	Економія витрат (%)
Проектування	6	4	33.3%	500	350	30%
Закупівля матеріалів	3	2	33.3%	2000	1800	10%
Будівництво	12	10	16.7%	5000	4500	10%
Контроль за якістю	2	1	50%	300	200	33.3%
Експлуатація	5	4	20%	1000	800	20%
Загальна економія	28	21	25%	7800	6650	14.6%

Для комплексної оцінки ефективності інтеграції цифрових платформ і ВІМ можна застосувати складну формулу, яка враховує не лише зниження витрат і часу, а й можливість оптимізації ресурсів, підвищення якості робіт та зниження ризиків.

$$E_{total} = \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{C_{total}} \times W_i \right) \times \frac{T_{before}}{T_{after}} \right) \times \left(1 - \frac{R_{risk}}{R_{total}} \right), \quad (6)$$

де E_{total} — загальна ефективність інтеграції, C_i — витрати на кожен етап будівництва до впровадження ВІМ, C_{total} — загальні витрати на будівництво до впровадження ВІМ, W_i — ваговий коефіцієнт для кожного етапу (оцінка важливості етапу в загальному процесі), T_{before} — час до впровадження ВІМ на всіх етапах будівництва, T_{after} — час після впровадження ВІМ на всіх етапах будівництва, R_{risk} — загальний ризик для проєкту до впровадження ВІМ, R_{total} — максимальний ризик для проєкту.

У сучасному будівництві інтеграція цифрових платформ і технологій моделювання інформації про будівлю (ВІМ) відіграє ключову роль у підвищенні ефективності управлінських процесів. Завдяки використанню цих інструментів можна значно зменшити витрати та час на кожному етапі будівельного циклу, починаючи від проектування і закінчуючи експлуатацією об'єкта.

Впровадження ВІМ дозволяє створювати точні 3D моделі, що істотно покращує планування та управління ресурсами. Це дає змогу заздалегідь виявляти можливі проблеми в проєкті, що знижує ймовірність помилок під час будівництва та оптимізує використання матеріалів і робочої сили. В результаті

зменшується кількість змін в процесі реалізації, що зазвичай призводить до додаткових витрат.

Цифрові платформи, з іншого боку, забезпечують централізовану базу даних для всіх учасників проекту, що дозволяє здійснювати моніторинг виконання завдань у реальному часі. Вони допомагають у плануванні, контролі термінів та бюджетів, а також у прийнятті оперативних рішень, що є особливо важливим при управлінні великими будівельними проектами [9].

Висновки. У результаті проведеного дослідження обґрунтовано, що інтеграція цифрових платформ і BIM-технологій є одним із ключових напрямів підвищення ефективності управлінських процесів на всіх етапах будівельного циклу. Узагальнення викладеного матеріалу дозволяє стверджувати, що поєднання інформаційного моделювання будівель із централізованими цифровими платформами формує якісно новий рівень організації управління будівельними проектами, який характеризується цілісністю, прозорістю та адаптивністю.

Встановлено, що BIM-технології забезпечують високоточну просторово-часову та ресурсну репрезентацію об'єкта будівництва, створюючи основу для виявлення колізій, оптимізації рішень на етапі проектування та зниження ймовірності помилок у процесі реалізації. Водночас цифрові платформи виконують інтеграційну функцію, акумулюючи дані щодо строків, витрат, ресурсів і ризиків, а також забезпечуючи безперервний моніторинг і координацію дій усіх учасників проекту. Саме їх спільне використання дозволяє перейти від фрагментарного управління до системного управлінського контуру, орієнтованого на прогнозування та попередження відхилень.

Література

1. Bryde D., Broquetas M., Volm J. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*. 2013. Vol. 31, No. 7. P. 971–980.
2. Vose D. *Risk Analysis: A Quantitative Guide*. – 3rd ed. – Chichester: John Wiley & Sons, 2008. – 752 p.
3. Monteiro A., Poças Martins J. A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. *Automation in Construction*. 2013. Vol. 35. P. 238–253.
4. Чуприна Ю.А. Залучення прикладних переваг bim-технологій до методики і практики формування життєвого циклу проектів в складі державних цільових програм, які втілюються будівельним кластером // «Економіка та держава» // 2019. – № 3. – С. 67-70.

5. Wong J.K.W., Wang X., Li H., Chan G.Q.P. A review of cloud-based BIM technology in the construction sector. *Journal of Information Technology in Construction*. 2014. Vol. 19. P. 281–291.
6. Love P.E.D., Edwards D.J., Han S., Goh Y. Rework in civil infrastructure projects: Determination of cost predictors. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2011. Vol. 137, No. 9. P. 678–692.
7. Чуприна Ю.А. Залучення прикладних переваг bim-технологій до методики і практики формування життєвого циклу проєктів в складі державних цільових програм, які втілюються будівельним кластером. // *Економіка та держава*. 2019. № 2
8. McGraw Hill Construction. *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation With BIM*. – New York: McGraw Hill, 2014. – 64 p.
9. Oesterreich T.D., Teuteberg F. Understanding the implications of digitization and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*. 2016. Vol. 83. P. 121–139.
10. Davies R., Crespín-Mazet F., Hobday M. BIM in construction: A strategic implementation framework. *International Journal of Project Management*. 2017. Vol. 35, No. 6. P. 1016–1030.

Oleksandr Balaban,

Kyiv National University of Construction and Architecture

INTEGRATION OF DIGITAL PLATFORMS AND BIM TECHNOLOGIES FOR OPTIMISING MANAGEMENT PROCESSES AT THE STAGES OF THE CONSTRUCTION CYCLE

The integration of digital platforms and BIM technologies in modern construction is considered a systemic instrument for optimising management processes at all stages of the construction cycle—from design to facility operation. The paper substantiates that the combination of centralised digital management platforms with building information modelling ensures the formation of a unified information and management environment, within which decision-making acquires an evidence-based, predictive, and adaptive character. It is shown that digital platforms perform the function of an integration core by accumulating data on schedules, resources, costs, and risks, while BIM technologies provide high-precision spatial and temporal representation of the construction object and enable multi-variant analysis of management scenarios.

The study emphasises the ability of integrated solutions to reduce managerial uncertainty, minimise planning errors, and ensure prompt correction of deviations in real time. The application of mathematical models for forecasting project duration, costs, risks, and resource utilisation is examined; these models can be implemented on digital platforms in combination with BIM models. The proposed analytical relationships make it possible to quantitatively assess the effectiveness of management decisions and to compare alternative options for organising construction processes.

Particular attention is paid to the analysis of the effects of BIM implementation, including the reduction of design costs, a decrease in the share of rework, improved accuracy of schedule and resource planning, as well as the optimisation of operational processes through the creation of digital twins. Using generalised data, it is demonstrated that the integration of digital platforms and BIM ensures a reduction in total costs and project delivery time, while increasing the transparency and controllability of the construction cycle. The study concludes that the systematic implementation of integrated digital solutions is advisable as a fundamental element of a modern model for managing construction projects.

Keywords: digital platforms; BIM technologies; construction project management; construction cycle; cost optimisation; risk management; information modelling; management efficiency.

REFERENCES

1. Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. The Project Benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 2013, Vol. 31, No. 7, pp. 971–980. {in English}
2. Vose, D. *Risk Analysis: A Quantitative Guide*. 3rd edition. Chichester: John Wiley & Sons, 2008, 752 p. {in English}
3. Monteiro, A., & Poças Martins, J. A Survey on Modeling Guidelines for Quantity Takeoff-Oriented BIM-Based Design. *Automation in Construction*, 2013, Vol. 35, pp. 238–253. {in English}
4. Chupryna, Yu.A. Incorporation of Applied Advantages of BIM Technologies into the Methodology and Practice of Project Life Cycle Formation within State Target Programs Implemented by the Construction Cluster. *Economy and the State*, 2019, No. 3, pp. 67–70. {in Ukrainian}
5. Wong, J.K.W., Wang, X., Li, H., & Chan, G.Q.P. A Review of Cloud-Based BIM Technology in the Construction Sector. *Journal of Information Technology in Construction*, 2014, Vol. 19, pp. 281–291. {in English}

6. Love, P.E.D., Edwards, D.J., Han, S., & Goh, Y. Rework in Civil Infrastructure Projects: Determination of Cost Predictors. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2011, Vol. 137, No. 9, pp. 678–692. {in English}
7. Chupryna, Yu.A. Integration of Applied Advantages of BIM Technologies into the Methodology and Practice of Project Life Cycle Formation within State Target Programs Implemented by the Construction Cluster. *Economy and the State*, 2019, No. 2. {in Ukrainian}
8. McGraw Hill Construction. *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation with BIM*. New York: McGraw Hill, 2014, 64 p. {in English}
9. Oesterreich, T.D., & Teuteberg, F. Understanding the Implications of Digitization and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry. *Computers in Industry*, 2016, Vol. 83, pp. 121–139. {in English}
10. Davies, R., Crespín-Mazet, F., & Hobday, M. BIM in Construction: A Strategic Implementation Framework. *International Journal of Project Management*, 2017, Vol. 35, No. 6, pp. 1016–1030. {in English}