

УДК 69.005.52:658.5:004.9

DOI: <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2024.19.15>**Ходак В.Д.**аспірант кафедри менеджменту організацій,
Національний університет «Львівська політехніка»**Русин-Гриник Р.Р.**Ph.D., доцент кафедри підприємництва
та екологічної експертизи товарів,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2895-6437>**Федина Я.В.**аспірант кафедри менеджменту організацій,
Національний університет «Львівська політехніка»**Khodak Volodymyr, Rusyn-Hrynyk Roman, Fedina Yaroslav**
Lviv Polytechnic National University

ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ БУДІВЕЛЬНИМ БІЗНЕСОМ

PRINCIPLES OF DEVELOPMENT OF SMART TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION BUSINESS MANAGEMENT

У сфері будівельного бізнесу SMART-технології повинні сприяти досягненню конкретних, вимірюваних, досяжних, значущих та обмежених в часі результатів у всіх аспектах управління проектами, ресурсами та витратами. Проте ефективна інтеграція цих технологій на всіх етапах будівельного процесу, включаючи планування, проектування, будівництво, управління об'єктами, технічне обслуговування та моніторинг, є ключовою проблемою. На основі розглянутих принципів розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом доведено, що інтеграція цифрових інновацій є ключовим у підвищенні ефективності, якості та сталості будівельних проектів. Автоматизація процесів, мобільність, гнучкість та інтелектуальне управління ресурсами дозволяють компаніям швидко адаптуватися до змінних умов ринку та ефективно управляти проектами, забезпечуючи високий рівень безпеки та мінімізуючи вплив на довкілля. Використання SMART-технологій сприяє покращенню зв'язку та координації між усіма учасниками проекту, що є важливим для досягнення загальних цілей проекту та задоволення очікувань клієнтів. Таким чином, SMART-технології відіграють стратегічну роль у сучасному будівельному бізнесі, відкриваючи нові можливості для інновацій, зростання та сталого розвитку.

Ключові слова: SMART-технології, будівельні підприємства, автоматизація процесів, будівельні проекти, принципи розвитку.

SMART technologies are expected to contribute to achieving specific, measurable, achievable, relevant, and time-bound results in all aspects of managing construction projects, resources, and costs. However, effective integration of these technologies at all stages of the construction process, including planning, design, construction, facility management, maintenance, and monitoring, is a key challenge. Some SMART technologies may be costly to implement and support, so addressing the issues of accessibility and affordability is critical for small and medium-sized companies in the construction industry. Preserving the confidentiality, integrity, and availability of data is an integral part of successful SMART technology usage, as they can introduce new security risks. Implementing such technologies requires not only technical knowledge but also cultural changes and process revisions. Adequate training and staff preparation are necessary for successful SMART technology implementation. Changes in internal processes and approaches to managing construction projects may be necessary when implementing SMART technologies. Effective management of these changes is critical to the successful execution of projects. Based on the principles of SMART technology development in construction business management, it has been demonstrated that integrating digital innovations is key to improving the efficiency, quality, and

sustainability of construction projects. Process automation, mobility, flexibility, and intelligent resource management enable companies to quickly adapt to changing market conditions and effectively manage projects, ensuring a high level of safety and minimizing environmental impact. The use of SMART technologies contributes to improving communication and coordination among all project participants, which is important for achieving project objectives and meeting client expectations. Thus, SMART technologies play a strategic role in modern construction business, opening up new opportunities for innovation, growth, and sustainable development.

Keyword: SMART technologies, construction enterprises, process automation, construction projects, principles of development.

Постановка проблеми. У сфері будівельного бізнесу SMART-технології повинні сприяти досягненню конкретних, вимірюваних, досяжних, значущих та обмежених в часі результатів у всіх аспектах управління проектами, ресурсами та витратами. Проте ефективна інтеграція цих технологій на всіх етапах будівельного процесу, включаючи планування, проєктування, будівництво, управління об'єктами, технічне обслуговування та моніторинг, є ключовою проблемою. Деякі SMART-технології можуть бути витратними на впровадження та підтримку, тому вирішення питання доступності та вартості є критичним для невеликих та середніх компаній в будівельній галузі. Збереження конфіденційності, цілісності та доступності даних є невід'ємною частиною успішного використання SMART-технологій, оскільки вони можуть представляти нові ризики безпеки. Впровадження таких технологій передбачає не лише технічні знання, а й культурні зміни та перегляд процесів. Належна навчання та підготовка персоналу необхідні для успішного впровадження SMART-технологій. Зміни внутрішніх процесів та підходів до управління будівельними проєктами можуть бути необхідними при впровадженні SMART-технологій. Ефективне управління цими змінами є критичним для успішного виконання проєктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Згідно з дослідженнями [1–5] Schnell P., Haag P., Jünger H.C., Ismail A.A. та Hassan R., Hossain M.A. та Nadeem A., Xu S., Wang J., Liu Y., Yu F., Uusitalo P., Lavikka R., технологічний прогрес у будівельному бізнесі значно розширює можливості і підвищує якість будівельних проєктів. Це знову підтверджується узагальненням літературних джерел [6–8], таких як роботи Craig N., Sommerville J., Bäckstrand J., Fredriksson A., Adriaanse A.

Водночас, інформаційне забезпечення відіграє критичну роль у досягненні ефективного використання цих нових технологій та успішності виконання будівельних проєктів. Отже, для успішного управління проєктами, забезпечення безпеки, дотримання законодавства і використання новітніх технологій будівельний бізнес потребує комплексного та ефективного інформаційного забезпечення.

Аналіз літературних джерел вказує, що хоча інформаційне забезпечення має загальні компоненти, кожен бізнес має свої унікальні особливості, які роблять його інформаційне забезпечення неповторним.

Формування цілей статті. Метою написання статті є визначення та характеристика принципів розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні, актуальними принципами розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом є такі: інтеграція цифрових технологій, автоматизація процесів, безпека та моніторинг у реальному часі, енергоефективність та сталість, інтелектуальне управління ресурсами, покращення якості та продуктивності, мобільність та зв'язок, адаптивність та гнучкість.

Інтеграція цифрових технологій у управлінні будівельним бізнесом означає широке впровадження інформаційних технологій та автоматизованих систем у всі аспекти будівельної індустрії [3–5]. Цей процес передбачає використання інформаційних моделей будівель (BIM), які дозволяють детально моделювати та аналізувати будівельні об'єкти на всіх етапах їх життєвого циклу, від проєктування до експлуатації. Завдяки BIM, фахівці можуть ефективно управляти інформацією про будівлю,

оптимізувати дизайн, оцінити вартість проектів та планувати будівництво з високою точністю. Впровадження Інтернету речей (IoT) дозволяє збирати дані з різних сенсорів, встановлених на будмайданчику або в готових будівлях. Ці дані можуть використовуватися для моніторингу стану конструкцій, ефективності систем вентиляції, освітлення та інших життєво важливих систем. Штучний інтелект та машинне навчання допомагають аналізувати зібрані дані, передбачати потенційні проблеми, оптимізувати роботу систем та підвищити ефективність експлуатації будівель.

Автоматизація процесів у контексті розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом відіграє ключову роль у підвищенні ефективності, зниженні витрат та оптимізації робочого процесу [6]. Цей принцип базується на застосуванні різноманітного програмного забезпечення, роботизованого обладнання та інтелектуальних систем для виконання рутинних, трудомістких завдань, які традиційно вимагають значного людського втручання. Завдяки автоматизації, можливо детально планувати проектні роботи, автоматично розраховувати матеріальні та фінансові ресурси, а також управляти логістикою на будмайданчику з високою точністю та мінімальними затратами часу. Автоматизовані системи дозволяють проводити комплексний аналіз даних проекту, виявляти потенційні ризики та проблеми на ранніх етапах, що сприяє запобіганню затримок та перевитрат. Роботизоване обладнання, таке як дрони для моніторингу будмайданчиків і роботи-будівельники для виконання високоточних робіт, забезпечує високу якість виконання завдань при одночасному скороченні необхідної кількості робочої сили. Впровадження системи управління проектами, інтегрованих з обліковими та кадровими системами, дозволяє ефективно розподіляти завдання між учасниками проекту, слідкувати за їх виконанням в реальному часі та автоматично коригувати плани відповідно до поточних потреб. Це забезпечує максимальну прозорість процесів управління та сприяє підвищенню взаємної відповідальності всіх залучених сторін. Крім того, автоматизація сприяє створенню безпечних умов праці на будмайданчику, оскільки багато потенційно небезпечних завдань можуть виконуватися машинами без необхідності безпосередньої участі людини. Це зменшує ризик виробничого травматизму та покращує загальні умови праці.

Безпека та моніторинг у реальному часі є критично важливими аспектами в управлінні будівельним бізнесом, особливо в контексті розвитку SMART-технологій [1–3]. Використання інноваційних технологічних рішень дозволяє значно підвищити рівень безпеки на будмайданчиках та забезпечити ефективний моніторинг стану об'єктів у будь-який час. Цей принцип включає в себе застосування сенсорів, систем відеонагляду, дронів та інших інтелектуальних пристроїв, що дозволяють здійснювати постійний контроль за безпечними умовами праці, структурною цілісністю будівель та навколишнім середовищем. Сенсори, розміщені на будмайданчику, можуть вимірювати різноманітні параметри, включаючи температуру, вологість, рівень вібрації та наявність шкідливих речовин у повітрі. Ця інформація передається в реальному часі до центру моніторингу, де вона аналізується з метою виявлення потенційних небезпек і вжиття відповідних заходів. Системи відеонагляду дозволяють візуально контролювати хід будівельних робіт, слідкувати за дотриманням працівниками норм безпеки та вчасно реагувати на нештатні ситуації. Дрони набувають особливої популярності в будівельній галузі за свою здатність забезпечувати аерофотозйомку та відеомоніторинг важкодоступних місць, що є важливим для оцінки стану великих будівельних об'єктів та інфраструктури. Вони можуть швидко надавати детальні зображення та відео, які допомагають ідентифікувати потенційні проблеми структурної цілісності або небезпечні умови без потреби фізичного доступу до цих місць. Інтеграція даних, отриманих з цих різноманітних джерел, у єдину інформаційну систему дозволяє виконувати комплексний аналіз безпеки об'єктів та ефективно управляти ризиками.

Енергоефективність та сталість є основоположними принципами в розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, спрямованими на мінімізацію

впливу будівельної діяльності на довкілля та оптимізацію використання ресурсів [7]. Цей підхід передбачає інтеграцію інноваційних рішень та технологій на всіх етапах будівництва, від планування та проектування до експлуатації об'єктів, з метою зниження енергоспоживання та вуглецевого сліду. Застосування інформаційних моделей будівлі (BIM) дозволяє вже на етапі проектування оптимізувати будівельні плани з огляду на енергоефективність, визначаючи найбільш ефективні матеріали та технології. Системи управління будівлею (BMS) інтегрують різноманітні датчики та контролери для моніторингу та оптимізації споживання енергії в реальному часі, адаптуючи роботу систем освітлення, опалення, вентиляції та кондиціонування до поточних потреб. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрові турбіни, в поєднанні з енергоефективними технологіями і матеріалами, сприяє зменшенню залежності від традиційних джерел енергії та зниженню екологічного впливу. Системи збору та використання дощової води, а також переробки стічних вод додатково знижують екологічний вплив об'єктів, сприяючи збереженню природних ресурсів. Стале будівництво також включає застосування матеріалів з низьким вуглецевим відбитком, що допомагає зменшити загальні викиди парникових газів від будівельної галузі. Це вимагає від будівельних компаній вибору постачальників та матеріалів, які відповідають високим стандартам екологічної безпеки та сталості.

Інтелектуальне управління ресурсами в рамках використання SMART-технологій в будівельному бізнесі стає ключовим елементом для оптимізації витрат, підвищення ефективності та забезпечення сталості проєктів. Цей принцип базується на використанні сучасних інформаційних технологій, даних великого обсягу, штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу, планування та контролю за використанням матеріальних, людських та фінансових ресурсів на всіх етапах будівельного процесу. Інтелектуальне управління ресурсами дозволяє точно визначати потреби проєкту в матеріалах, обладнанні та робочій силі, забезпечуючи їх наявність у потрібний час і в потрібному місці без зайвих затрат і затримок. Це досягається шляхом автоматизації процесів планування та використання передових систем управління проєктами, які інтегруються з базами даних постачальників, складами та логістичними сервісами. Важливою складовою інтелектуального управління ресурсами є аналітика даних, яка дозволяє прогнозувати майбутні потреби в ресурсах на основі історичних даних та поточного прогресу робіт. Це сприяє оптимізації закупівель, запобіганню дефіциту матеріалів чи перевитрати ресурсів, а також дозволяє адаптуватися до змін у проєкті з мінімальними втратами.

Покращення якості та продуктивності в контексті розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом відіграє вирішальну роль у досягненні високих стандартів виконання проєктів та ефективності робочих процесів. Використання інноваційних технологічних рішень, таких як інформаційні моделі будівлі (BIM), інтегровані системи управління проєктами, автоматизоване обладнання та інструменти для аналізу даних, сприяє значному підвищенню якості будівельних робіт та оптимізації виробничих процесів. Завдяки BIM можна детально планувати, моделювати та аналізувати будівельні проєкти ще до початку фізичного будівництва, що дозволяє виявляти потенційні проблеми та конфлікти на ранніх етапах. Це не тільки зменшує кількість помилок під час будівництва, але й сприяє економії часу та ресурсів. Інтегровані системи управління проєктами забезпечують ефективну координацію між усіма учасниками проєкту, від архітекторів до підрядників, що підвищує продуктивність роботи та спрощує процеси управління. Автоматизація за допомогою роботизованого обладнання та інструментів, таких як дрони для моніторингу будмайданчиків, не тільки підвищує точність виконання робіт, але й забезпечує безпеку праці, знижуючи ризик виробничого травматизму. Технології аналізу даних дозволяють оптимізувати робочі процеси, аналізуючи великі обсяги інформації для виявлення оптимальних шляхів виконання робіт та управління ресурсами.

Мобільність та зв'язок в рамках розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом стають невід'ємною частиною сучасного будівельного процесу, значно підвищуючи ефективність комунікації та управління проектами. Цей принцип базується на використанні мобільних пристроїв, додатків та хмарних технологій для забезпечення постійного доступу до проектної документації, оперативного обміну інформацією між учасниками проекту та ефективного управління ресурсами на будмайданчику. Завдяки мобільним технологіям керівники проектів, інженери та робітники мають можливість в реальному часі отримувати та оновлювати важливу інформацію прямо з місця проведення робіт. Це дозволяє оперативно реагувати на будь-які зміни в проекті, швидко вирішувати виникаючі проблеми та забезпечувати високий рівень координації між різними підрозділами та спеціалістами.

Використання мобільних технологій у будівельній галузі стимулює інновації та підвищує загальну конкурентоспроможність компаній, оскільки дозволяє зменшити час на виконання проектів, знизити витрати на комунікації та покращити управління ресурсами. Таким чином, мобільність та зв'язок відіграють ключову роль у створенні гнучкої, ефективної та високопродуктивної будівельної індустрії, адаптованої до викликів сучасності.

Адаптивність та гнучкість в рамках використання SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом стають вирішальними факторами, які дозволяють компаніям швидко реагувати на зміни в проектних вимогах, ринкових умовах або законодавчому середовищі. Впровадження цих принципів передбачає інтеграцію гнучких методологій управління проектами, а також використання адаптивних технологічних рішень, які можуть бути легко модифіковані або налаштовані для відповідності новим вимогам. Адаптивність та гнучкість дозволяють компаніям ефективно управляти ризиками, оптимізувати ресурси та підвищувати загальну продуктивність. Завдяки гнучким методологіям, таким як Agile або Scrum, проекти можуть розвиватися ітеративно, з постійним врахуванням зворотного зв'язку від замовників та користувачів, що забезпечує високу відповідність кінцевого продукту очікуванням ринку. Інтеграція адаптивних технологічних рішень, таких як інформаційні моделі будівлі (BIM), IoT (Інтернет речей) та штучний інтелект, надає можливість для збору, аналізу та використання даних в реальному часі для прийняття обґрунтованих рішень. Це сприяє не тільки покращенню якості будівельних проектів, але й підвищує ефективність використання ресурсів та скорочує час виконання робіт.

Висновки. На основі розглянутих принципів розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом доведено, що інтеграція цифрових інновацій є ключовим у підвищенні ефективності, якості та сталості будівельних проектів. Автоматизація процесів, мобільність, гнучкість та інтелектуальне управління ресурсами дозволяють компаніям швидко адаптуватися до змінних умов ринку та ефективно управляти проектами, забезпечуючи високий рівень безпеки та мінімізуючи вплив на довкілля. Використання SMART-технологій сприяє покращенню зв'язку та координації між усіма учасниками проекту, що є важливим для досягнення загальних цілей проекту та задоволення очікувань клієнтів. Таким чином, SMART-технології відіграють стратегічну роль у сучасному будівельному бізнесі, відкриваючи нові можливості для інновацій, зростання та сталого розвитку.

References:

1. Schnell P, Haag P, Jünger H.C. (2023) Implementation of Digital Technologies in Construction Companies: Establishing a Holistic Process which Addresses Current Barriers. *Businesses*, no. 3(1), pp. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.3390/businesses3010001>
2. Ismail and R. Hassan. (2019) Technical competencies in digital technology towards industrial revolution 4.0. *Journal of Technical Education and Training*, vol. 11, no. 3, pp. 55–62. DOI: <https://doi.org/10.30880/jtet.2019.11.03.008>

3. Hossain M. A. and Nadeem A. (2019) Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0. in ISEC 2019. *10th International Structural Engineering and Construction Conference*. DOI: <https://doi.org/10.14455/isec.res.2019.184>
 4. Xu S, Wang J, Liu Y, Yu F. (2023) Application of Emerging Technologies to Improve Construction Performance. *Buildings*, no. 13(5). DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13051147>
 5. Uusitalo, P., Lavikka, R. (2021). Technology transfer in the construction industry. *J Technol Transf*, no. 46, pp. 1291–1320. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10961-020-09820-7>
 6. Craig N., Sommerville J. (2006) Information management systems on construction projects: case reviews. *Records Management Journal*, vol. 16, no. 3, pp. 131–148. DOI: <https://doi.org/10.1108/09565690610713192>
 7. Jenny Bäckstrand, Anna Fredriksson (2022) The role of supplier information availability for construction supply chain performance. *Production Planning & Control*, vol. 33:9-10, pp. 863–874, DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1837933>
 8. Fredriksson A., Jenny B. (2020) The role of supplier information availability for construction supply chain performance. *Production planning & control*. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1837933>
-