

УДК 69:004.9

DOI: <https://doi.org/10.32782/2304-0920/4-102-10>

Ходак В. Д.

Національний університет «Львівська політехніка»

АНАЛІЗ РІВНЯ РОЗВИТКУ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ БУДІВЕЛЬНИМ БІЗНЕСОМ

Обґрунтовано, що розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом як в Україні, так і на міжнародному рівні протягом 2018–2023 рр. досягнув суттєвих зрушень, що сприяло підвищенню ефективності, зниженню витрат та покращенню безпеки на будівельних об'єктах. Аргументовано, що ключовими технологіями, які забезпечують ці зміни, є системи BIM, IoT-пристрої, а також програмні рішення на основі хмарних технологій, штучного інтелекту і машинного навчання. Доведено, що зростання використання хмарних платформ та мобільних додатків створює умови для швидкого доступу до даних та поліпшення комунікації між учасниками будівельного процесу, що забезпечує ефективне управління навіть за складних умов. Дані досліджень підтверджують, що впровадження SMART-технологій сприяло оптимізації використання ресурсів, зокрема енергоефективності та раціональному розподілу матеріалів, що також позитивно позначилося на загальних витратах компаній. Крім того, доведено, що зниження адміністративних витрат, завдяки автоматизації процесів і інтеграції сучасних технологій, дозволило зробити впровадження SMART-технологій доступним не тільки для великих підприємств, а й для малих та середніх компаній у будівельній галузі. Обґрунтовано, що використання штучного інтелекту для аналізу ризиків та оптимізації логістики сприяло зменшенню аварійних ситуацій та підвищенню стандартів безпеки на будівельних об'єктах. Таким чином, аргументовано, що у 2024–2026 рр. розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом продовжуватиме зростати завдяки розширенню можливостей IoT, штучного інтелекту та хмарних платформ. Очікується, що ці технології будуть сприяти подальшій оптимізації будівельних процесів, зниженню витрат і покращенню якості виконання робіт, що є необхідними умовами для підвищення конкурентоспроможності галузі як в Україні, так і на глобальному рівні.

Ключові слова: SMART-технології, будівельні компанії, хмарні платформи, штучний інтелект, енергоефективність.

Постановка проблеми. Рівень розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом за період 2018–2023 рр. суттєво зріс. Одним із ключових факторів цього зростання є активне впровадження цифрових інструментів управління, зокрема, автоматизованих систем для моніторингу та контролю будівельних проєктів. Це призвело до зниження кількості помилок, підвищення ефективності процесів, а також оптимізації витрат на реалізацію проєктів. Завдяки впровадженню SMART-технологій, будівельні компанії отримали можливість здійснювати реальний моніторинг стану проєктів у режимі реального часу, що дозволяє швидко реагувати на виникаючі проблеми. Крім того, застосування аналітичних інструментів сприяло покращенню планування та управлінських рішень, що веде до більш точного прогнозування витрат і термінів завершення проєктів.

Також варто зазначити, що інтеграція технологій інтернету речей (IoT) і штучного інтелекту (AI) в управлінні будівництвом дозволила компаніям автоматизувати багато рутинних процесів, таких як облік ресурсів, контроль якості матеріалів та безпеку на будівельних майданчиках. Це не тільки знижує ймовірність людських помилок, але й підвищує загальний рівень безпеки праці.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз публікацій підтверджує значне зростання впровадження SMART-технологій у будівельному бізнесі. Слід відзначити таких науковців, як Величко В.В., Троненко М.І. [1], Ключко А.А. [2] Chen X., Chang-Richards A.Y., Pelosi A., Jia Y., Shen X., Siddiqui M.K. and Yang N. [3], які наголошують на значенні технологій, таких як SMART-рішення, BIM та IoT, у підвищенні ефективності будівельних процесів, оптимізації ресурсів і зменшенні витрат. У свою чергу Ngo T., Hwang B.-G., Zhang C., and Chen Z. [4], Uusitalo P., and Lavikka R. [5], які досліджують вплив сучасних технологій (SMART-рішень, IoT, BIM) на будівельну галузь, показуючи, як вони сприяють трансформації традиційних підходів до управління проєктами. Xu S., Wang J., Liu Y., and Yu F. [6], Genkin M.,

and McArthur J.J. [7] демонструють, як новітні технології змінюють підходи до управління будівельними об'єктами, забезпечуючи автоматизацію процесів, покращений моніторинг і ефективніше використання ресурсів. Schnell P., Haag P., and Jünger H.C. [8], Bäckstrand J., and Fredriksson A. [9] та Tamošaitienė J., Zavadskas E.K., and Turkis Z. [10] доводять, що управління будівельними проєктами повинно відбуватися за допомогою технологій, аналізу ризиків і оптимізації процесів, акцентуючи увагу на зниженні витрат, підвищенні ефективності та кращій адаптації до сучасних викликів.

Отже, основними напрямками дослідження є впровадження автоматизованих систем для моніторингу проєктів, використання штучного інтелекту та великих даних для аналізу і прогнозування, а також застосування IoT для покращення управлінських процесів. Однак, виклики, пов'язані з високими витратами, недостатньою підготовкою кадрів і технологічними бар'єрами, залишаються актуальними. Публікації також підкреслюють потенціал SMART-технологій для підвищення ефективності, сталого розвитку та інновацій у будівельному секторі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У контексті розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом залишаються не вирішеними кілька важливих аспектів. По-перше, недостатня інтеграція штучного інтелекту в існуючі бізнес-процеси обмежує можливості підвищення ефективності. По-друге, специфіка українського ринку потребує розробки локальних рекомендацій, оскільки міжнародні практики можуть не враховувати актуальні виклики. Також існує потреба в єдиних стандартах і регуляціях для впровадження SMART-технологій, оскільки їх відсутність перешкоджає широкому застосуванню. Проблеми навчання персоналу та управління даними, а також недостатня обізнаність про можливості нових технологій, також потребують уваги для забезпечення успішного переходу до цифрових інструментів в будівництві.

Мета статті: дослідити рівень розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні, різке зростання впровадження IoT-пристроїв, сенсорних технологій та програмного забезпечення для управління ресурсами (Building Information Modeling, BIM) вплинуло на зниження затримки у проєктах та оптимізацію розподілу матеріалів, що суттєво підвищило загальну продуктивність у будівельній галузі.

На додаток, вартість обслуговування інтелектуальних систем управління за цей період знизилась на 15–20 %, що сприяло їх поширенню навіть у середніх та малих будівельних компаніях.

Це було можливим завдяки розвитку хмарних технологій, які спростили доступ до даних та зменшили потребу в фізичній інфраструктурі для зберігання інформації. За оцінками міжнародних дослідницьких організацій, з 2018 по 2023 рік інвестиції в SMART-технології для будівельного бізнесу зросли на 35 %, що підтверджує зацікавленість бізнесу у впровадженні інноваційних рішень задля зниження витрат і підвищення якості послуг (рис. 2).

Іншим важливим аспектом є зростання використання штучного інтелекту та машинного навчання, які дозволяють передбачати потенційні проблеми, оцінювати ризики і ефективно розподіляти ресурси. Це, в свою чергу, сприяло зменшенню аварійних ситуацій на будівельних майданчиках і скороченню витрат на ліквідацію наслідків інцидентів. Зокрема,

за даними досліджень, рівень безпеки на об'єктах, де використовуються SMART-технології, зріс на 25 %, що підтверджує їхню ефективність (рис. 3).

Таким чином, розвиток SMART-технологій у будівельному бізнесі у період 2018–2023 рр. став значним кроком уперед у забезпеченні ефективного та безпечного управління будівельними проєктами, оптимізації витрат та підвищення продуктивності.

Рівень розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом в Україні за період 2018–2023 рр. демонструє поступове зростання, яке сприяє оптимізації процесів у будівельній галузі. Впровадження цифрових рішень, таких як системи BIM і моніторинг через IoT-пристрої, стало значним кроком до зниження витрат, скорочення часових витрат та підвищення якості виконання робіт. За статистичними даними, кількість компаній, що використовують BIM-технології в Україні, збільшилася на 30 % з 2018 року, що забезпечило ефективнішу організацію проєктів та поліпшення комунікації між учасниками будівельного процесу (рис. 4).

Суттєвим стимулом для розвитку SMART-технологій стало також поширення хмарних сервісів та мобільних додатків для управління будівельними процесами, що дозволило знизити адміністративні витрати та зробити контроль процесів доступним з будь-якої точки.

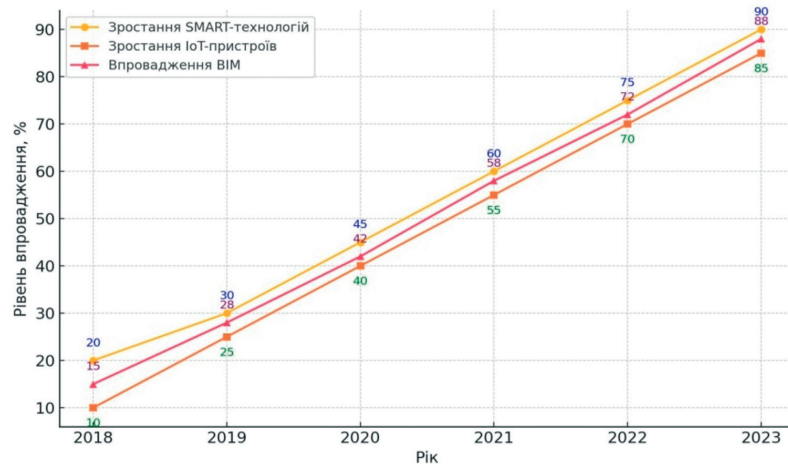


Рис. 1. Динаміка впровадження SMART-технологій, IoT-пристроїв та BIM у будівельному бізнесі упродовж 2018–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за [13; 14]

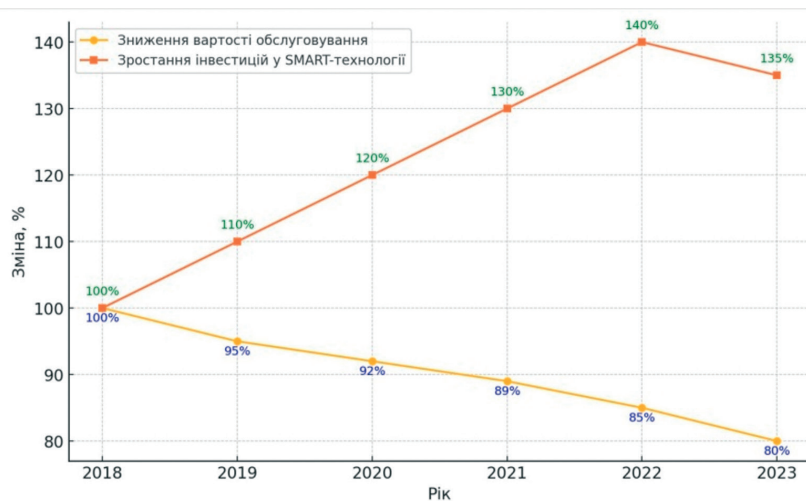


Рис. 2. Тенденція зниження вартості обслуговування інтелектуальних систем управління та зростання інвестицій у SMART-технології в будівельному бізнесі упродовж 2018–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за [12; 14]

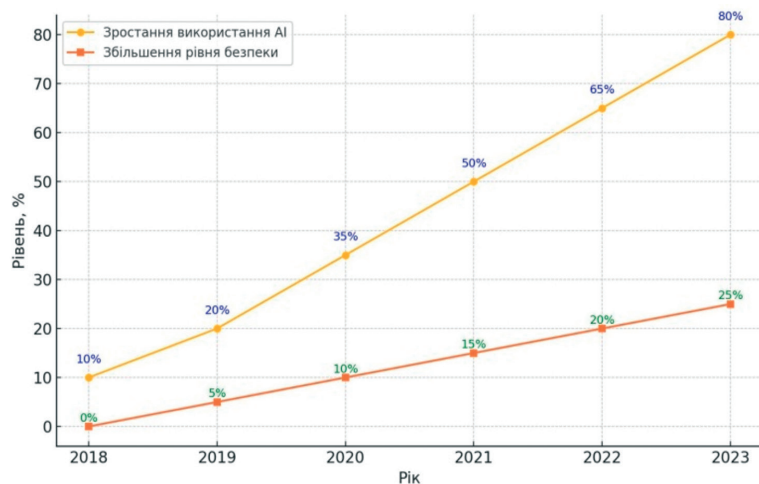


Рис. 3. Тенденція зростання використання штучного інтелекту в управлінських будівельних об'єктах та підвищення рівня безпеки упродовж 2018–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за *Advanced Engineering Insights; Construction Safety Review*

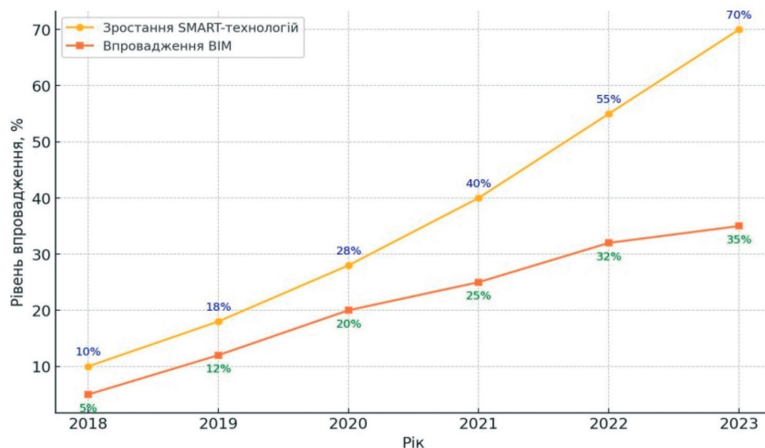


Рис. 4. Зростання впровадження SMART-технологій та BIM в управлінні будівельним бізнесом в Україні упродовж 2018–2023 рр.

Джерело: побудовано автором [13]

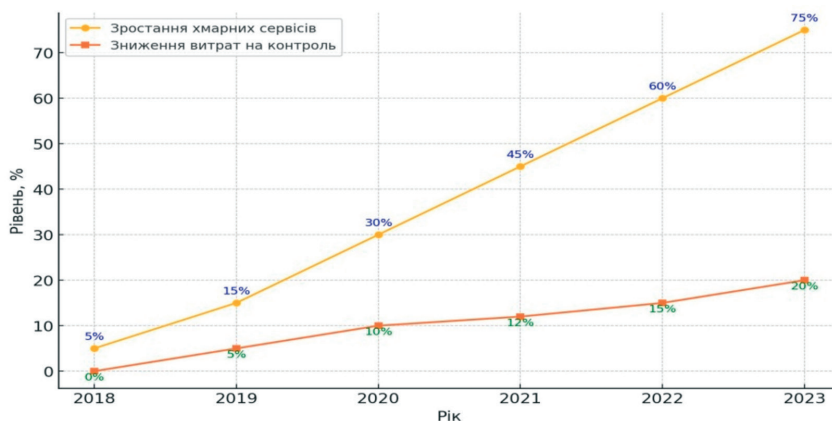


Рис. 5. Зростання впровадження хмарних сервісів та відповідне зниження витрат на контроль і моніторинг у будівельній сфері упродовж 2018–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за [11; 12]

Ці технології забезпечують постійний доступ до даних про матеріальні ресурси, стан об'єкта та поточний прогрес робіт, що дозволяє оперативно реагувати на відхилення та коригувати процеси. Згідно з дослідженнями, завдяки хмарним сервісам зниження витрат на контроль і моніторинг об'єктів у будівельній сфері досягло 20 % у 2023 році порівняно з 2018 роком (рис. 5).

Значна роль у розвитку SMART-технологій в українському будівельному бізнесі належить використанню штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання для прогнозування ризиків та оптимізації ресурсів. Це особливо важливо в умовах змінного економічного середовища та нестабільної вартості будівельних матеріалів, що стало характерним для останніх років. Наприклад,

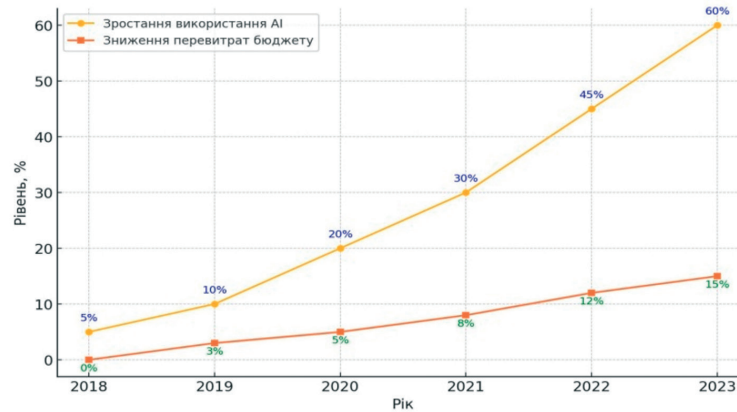


Рис. 6. Використання штучного інтелекту в будівельному бізнесі України та відповідне зниження перевитрат бюджету упродовж 2018–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за [14]

AI-технології для оцінки ризиків та прогнозування затрат дозволяють зменшити перевитрати бюджету на 10–15 %, що є критичним фактором у період економічної турбулентності (рис. 6).

Впровадження SMART-технологій також позитивно позначилося на рівні безпеки в будівельній галузі. Використання автоматизованих систем моніторингу та сенсорних пристроїв зменшило кількість аварійних ситуацій на будівельних майданчиках, підвищуючи стандарти безпеки. За даними українських будівельних компаній, кількість інцидентів на майданчиках, де застосовуються технології автоматизації, знизилася на 25 % порівняно з 2018 роком, що підтверджує ефективність цих технологій у покращенні безпеки.

Отже, розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом в Україні за період 2018–2023 рр. свідчить про суттєві зрушення в оптимізації процесів, підвищенні ефективності роботи та покращенні стандартів безпеки. Цей тренд підтверджується зростаючими інвестиціями у цифрові інструменти та розширенням використання інноваційних технологій, що сприяють створенню конкурентоспроможного та стабільного будівельного сектору в Україні.

Прогноз розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом в Україні та світі на період 2024–2026 рр., з урахуванням тенденцій 2018–2023 рр., вказує на подальше зростання ролі цифрових рішень у цій галузі. Поширення систем автоматизації та діджиталізації процесів очікується на рівні близько 10–15 % на рік у світі, що буде зумовлено потребою в оптимізації ресурсів, підвищенні безпеки та екологічній відповідальності. За даними глобальних досліджень, очікується збільшення ринку BIM-технологій на 20–25 % до 2026 року, що пояснюється потребою у контролі за проектами, мінімізації витрат та скороченні термінів виконання будівельних робіт.

В Україні розвиток SMART-технологій у будівельній галузі також прогнозується на рівні близько 12–18 % на рік. Очікується, що зростання використання хмарних технологій, що забезпечують доступ до даних у реальному часі, сприятиме підвищенню прозорості та ефективності процесів управління будівельними об'єктами, що особливо актуально в умовах зростаючої конкуренції. Крім того, зниження вартості впровадження цих рішень завдяки розвитку локальних платформ та адаптації міжнародного програмного забезпечення до українського ринку забезпечить ширше

використання технологій навіть серед малих та середніх підприємств.

Глобальний розвиток IoT-пристроїв в управлінні будівництвом сприятиме більш точному моніторингу ресурсів, контролю за використанням матеріалів і оптимізації енергоспоживання на будівельних майданчиках. За прогнозами, світовий ринок IoT-рішень для будівництва зросте на 30 % до 2026 року, що дозволить зменшити кількість відходів і збільшити ефективність використання матеріалів на 15–20 %, що є важливим для досягнення цілей сталого розвитку. Український ринок очікує на впровадження більш доступних IoT-технологій, що може призвести до зниження операційних витрат на 10 % за рахунок зменшення витрат енергії та ресурсів.

Ще одним ключовим фактором розвитку SMART-технологій у будівництві буде штучний інтелект та машинне навчання, що забезпечать більш детальний аналіз і прогнозування ризиків, оптимізацію логістичних процесів та підвищення безпеки. Зокрема, очікується, що впровадження таких рішень дозволить до 2026 року скоротити кількість аварійних ситуацій на об'єктах будівництва на 30 % за рахунок автоматизованого моніторингу і виявлення потенційних ризиків. У глобальному масштабі ринок рішень на основі штучного інтелекту для будівельної галузі зростатиме на 25 % на рік, що забезпечить швидке поширення таких технологій як на великих об'єктах, так і на локальних проектах у різних країнах.

Прогноз розвитку SMART-технологій у будівельній галузі на період 2024–2026 рр. свідчить про підсилення ролі інновацій у підвищенні продуктивності та ефективності процесів на будівельних майданчиках. Очікується, що розширення функціональності та зниження вартості таких рішень, як хмарні платформи та IoT-пристрої, сприятиме інтеграції SMART-технологій навіть у малі та середні компанії, що дозволить їм покращити управління ресурсами, мінімізувати втрати та оптимізувати споживання енергії. Зокрема, прогнозоване зростання ринку IoT у світі на 30 % до 2026 року надає можливість підвищити точність моніторингу за допомогою сенсорних мереж, що дозволить будівельним компаніям краще відстежувати використання матеріалів і зменшувати кількість відходів на 15–20 %. В Україні ця тенденція особливо важлива з огляду на зростаючі витрати на енергоресурси та матеріали. Використання доступніших IoT-рішень, зокрема локальних платформ,

допоможе знизити операційні витрати на 10 %, що значно підтримає компанії в умовах нестабільного економічного середовища. Ще одним важливим напрямком є розвиток штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання. Очікується, що їхнє застосування у будівельній галузі зростатиме на 25 % щорічно, що дозволить проводити більш детальний аналіз ризиків, передбачати можливі відхилення і негаразди, тим самим забезпечуючи більш точне планування витрат і ресурсів. У результаті цього рівень безпеки на будівельних об'єктах має покращитися, а кількість інцидентів скоротиться на 30 % за рахунок запровадження інтелектуальних систем моніторингу ризиків і автоматизованого управління процесами. Така динаміка розвитку SMART-технологій свідчить про значний потенціал для подальшої оптимізації управління будівельними проектами, підвищення безпеки та економії ресурсів.

Вплив штучного інтелекту на розподіл ресурсів кардинально змінює способи розподілу, моніторингу та оптимізації ресурсів. Особливо вагомий цей вплив у сферах, які вимагають точного планування, коригування в реальному часі та передбачуваності. Штучний інтелект дозволяє компаніям прогнозувати потреби у ресурсах, аналізуючи історичні дані та поточні тенденції, що дає змогу передбачити коливання попиту. Такий підхід сприяє зменшенню витрат та забезпечує більш ефективний розподіл ресурсів, гарантуючи, що вони надаються саме там і тоді, коли необхідно.

Завдяки використанню сенсорних технологій та IoT штучний інтелект забезпечує можливість постійного моніторингу даних у реальному часі для динамічного коригування розподілу ресурсів. Це надзвичайно важливо в таких галузях, як виробництво, де обладнання та персонал мають працювати узгоджено відповідно до змінних виробничих вимог. Можливість автоматичного аналізу даних і миттєвого коригування допомагає уникнути як нестачі ресурсів, так і їх надмірного використання, що підвищує загальну ефективність процесів.

Важливим аспектом є також оптимізація трудових ресурсів завдяки автоматизації рутинних завдань, що звільняє персонал для стратегічної роботи. У проєктах штучний інтелект дозволяє оптимізувати планування та розподіл завдань, що сприяє більш ефективному використанню людського капіталу. Це допомагає направляти співробітників на виконання складніших завдань,

відповідно до їхньої кваліфікації та вимог проєкту, підвищуючи загальну продуктивність і цінність роботи.

Штучний інтелект також має трансформаційний вплив на управління ланцюгом постачання, забезпечуючи точний контроль над рівнями запасів, зменшуючи витрати на зберігання і покращуючи управління постачальниками. Прогностичні алгоритми дозволяють передбачити можливі збої в постачанні та пропонувати перерозподіл ресурсів для уникнення затримок, що значно знижує ризики і сприяє безперебійному функціонуванню ланцюга постачання.

Не менш важливим є внесок штучного інтелекту в досягнення економічної ефективності та стійкості. Аналітика на основі ШІ дозволяє виявляти неефективні витрати енергії чи матеріалів та оптимізувати використання ресурсів. Наприклад, у будівництві штучний інтелект дає можливість знижувати витрати за рахунок оптимізації розподілу матеріалів, що сприяє зменшенню відходів та досягненню цілей сталого розвитку.

Висновки з проведеного дослідження. У 2024–2026 роках розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом обіцяє значне підвищення ефективності, безпеки та сталого використання ресурсів. Очікується, що впровадження інноваційних рішень, таких як IoT і штучний інтелект, дозволить оптимізувати процеси, зменшити витрати, покращити моніторинг ресурсів та забезпечити більш точне планування проєктів. Зокрема, зростання ринку IoT і розвиток алгоритмів машинного навчання стануть каталізаторами для підвищення продуктивності та безпеки на будівельних майданчиках, зменшуючи ризики і витрати на 15–20 % і 30 % відповідно.

Завдяки інтеграції сучасних технологій, компанії зможуть адаптуватися до змінних умов ринку, зменшити витрати на енергоресурси і матеріали, а також оптимізувати управління трудовими ресурсами. Штучний інтелект надасть можливість ефективного управління ланцюгами постачання, прогнозуючи потреби та зменшуючи ризики, що суттєво підвищить стабільність бізнесу.

Отже, перспективи розвитку SMART-технологій в українському будівництві свідчать про величезний потенціал для вдосконалення управлінських практик, забезпечуючи економічну ефективність, стійкість та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Список використаних джерел:

1. Величко В.В., Троненко М.І. Бар'єри та перешкоди впровадження концепції SMART будівель і технологій в Україні. *Будівництво. Архітектура. Урбаністика. Сучасні євроінтеграційні рішення*. 2019. С. 35–38. URL: https://eprints.kname.edu.ua/52046/1/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_2019_%D0%91%D0%90%D0%92%D0%A3%D0%A1%D0%95%D0%A0-35-38.pdf
2. Ключко А.А. Цифрові технології в галузі архітектури і будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 48. С. 61–68, DOI: <https://dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2021.48.61-68>
3. Chen X., Chang-Richards A.Y., Pelosi A., Jia Y., Shen X., Siddiqui M.K. and Yang N. Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2022. Vol. 29 No. 8. P. 3181–3209. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2021-0172>
4. Ngo T., Hwang B.-G., Zhang C., and Chen Z. Impact of Smart Technologies on Construction Projects: Improvements in Project Performance. *Proceedings of the Conference CIB W78 2021*. October 11–15, 2021, Luxembourg. URL: <https://itc.scix.net/pdfs/w78-2021-paper-023.pdf>
5. Uusitalo P., and Lavikka R. Technology transfer in the construction industry. *Journal of Technology Transfer*. 2021. Vol. 46. P. 1291–1320. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10961-020-09820-7>
6. Xu S., Wang J., Liu Y., and Yu F. Application of Emerging Technologies to Improve Construction Performance. *Buildings*. 2023. Vol. 13(5). DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13051147>
7. Genkin M., and McArthur J.J. B-SMART: A Reference Architecture for Artificially Intelligent Autonomous Smart Buildings. *arXiv preprint*. 2022. Available at: <https://arxiv.org/abs/2211.03219>
8. Schnell P., Haag P., and Jünger H.C. Implementation of Digital Technologies in Construction Companies: Establishing a Holistic Process which Addresses Current Barriers. *Businesses*. 2023. Vol. 3(1). P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.3390/businesses3010001>

9. Bäckstrand J., and Fredriksson A. The Role of Supplier Information Availability for Construction Supply Chain Performance. *Production Planning & Control*. 2022. Vol. 33(9–10). P. 863–874. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1837933>
10. Tamošaitienė J., Zavadskas E.K., and Turkis Z. Multi-Criteria Risk Assessment in Construction Projects. *Procedia Computer Science*. 2013. Vol. 17. P. 129–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.018>
11. Global Market Insights. Global Market Insights: Trends in Smart Technologies in Construction. 2022. Available at: <https://www.globalmarketinsights.com>
12. Industry Reports. Annual Report on Emerging Technologies in Construction Industry. 2021. Available at: <https://www.industryreports.com>
13. Державна служба статистики України. Звіт про впровадження цифрових технологій у будівельному секторі України. Київ: Державна служба статистики України, 2023. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua>
14. Deloitte Insights. Smart Construction Market Trends: 2024–2026 Forecast. Deloitte Publications. 2023. URL: <https://www.deloitte.com/insights>

References:

1. Velychko V. V., & Tronenko M. I. (2019) Bar'ieri ta pereshkody vprovadzhennya kontseptsiyi SMART budivel' i tekhnolohiy v Ukraini [Barriers and obstacles to implementing the concept of SMART buildings and technologies in Ukraine]. *Budivnytstvo. Arkhitektura. Urbanistyka. Suchasni yevrointehratsiyni rishennya*, pp. 35–38. Available at: https://eprints.kname.edu.ua/52046/1/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_2019_%D0%91%D0%90%D0%92%D0%A3%D0%A1%D0%95%D0%A0-35-38.pdf
2. Klochko A. A. (2021) Tsyfrovi tekhnolohiyi v haluzi arkhitektury i budivnytstva [Digital technologies in the field of architecture and construction]. *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system*, vol. 48, pp. 61–68. DOI: <https://dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2021.48.61-68>
3. Chen X., Chang-Richards A. Y., Pelosi A., Jia, Y., Shen X., Siddiqui M. K., & Yang N. (2022) Implementation of technologies in the construction industry: A systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29(8), pp. 3181–3209. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2021-0172>
4. Ngo T., Hwang B.-G., Zhang C., & Chen Z. (October 11–15, 2021) Impact of smart technologies on construction projects: Improvements in project performance. *Proceedings of the Conference CIB W78 2021*, Luxembourg. Available at: <https://itc.scix.net/pdfs/w78-2021-paper-023.pdf>
5. Uusitalo P., & Lavikka R. (2021) Technology transfer in the construction industry. *Journal of Technology Transfer*, vol. 46, pp. 1291–1320. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10961-020-09820-7>
6. Xu S., Wang J., Liu Y., & Yu F. (2023) Application of emerging technologies to improve construction performance. *Buildings*, vol. 13(5). DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13051147>
7. Genkin M., & McArthur J. J. (2022) B-SMART: A reference architecture for artificially intelligent autonomic smart buildings. *arXiv preprint*. Available at: <https://arxiv.org/abs/2211.03219>
8. Schnell P., Haag P., & Jünger H. C. (2023) Implementation of digital technologies in construction companies: Establishing a holistic process which addresses current barriers. *Businesses*, vol. 3(1), pp. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.3390/businesses3010001>
9. Bäckstrand J., & Fredriksson A. (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>
10. Tamošaitienė J., Zavadskas E. K., & Turkis Z. (2013) Multi-criteria risk assessment in construction projects. *Procedia Computer Science*, vol. 17, pp. 129–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.018>
11. Global Market Insights (2022) Global Market Insights: Trends in Smart Technologies in Construction. Available at: <https://www.globalmarketinsights.com>
12. Industry Reports (2021) Annual report on emerging technologies in construction industry. Available at: <https://www.industryreports.com>
13. State Statistics Service of Ukraine (2023) Report on the implementation of digital technologies in the construction sector of Ukraine. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine. Available at: <https://www.ukrstat.gov.ua>
14. Deloitte Insights (2023) Smart construction market trends: 2024–2026 forecast. *Deloitte Publications*. Available at: <https://www.deloitte.com/insights>

Khodak Volodymyr

Lviv Polytechnic National University

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT LEVEL OF SMART TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION BUSINESS MANAGEMENT

Summary

It is substantiated that the development of SMART technologies in construction business management, both in Ukraine and internationally, achieved significant progress during 2018–2023, leading to increased efficiency, reduced costs, and improved safety on construction sites. It is argued that the key technologies facilitating these changes are BIM systems, IoT devices, as well as cloud-based software solutions, artificial intelligence, and machine learning. Research data demonstrate that the growth in the use of cloud platforms and mobile applications creates conditions for rapid access to data and enhances communication among participants in the construction process, ensuring effective management even under challenging conditions. Studies confirm that the implementation of SMART technologies has contributed to the optimization of resource utilization, particularly energy efficiency and rational material distribution, which has also positively impacted the overall costs of companies. Furthermore, it is established that the reduction of administrative expenses, due to process automation and the integration of modern technologies, has made the implementation of SMART technologies accessible not only for large enterprises but also for small and medium-sized companies in the construction sector. The use of artificial intelligence for risk analysis and logistics optimization is also substantiated, as it has contributed to a decrease in accidents and an increase in safety standards on construction sites. Thus, it is argued that from 2024 to 2026, the development of SMART technologies in construction business management will continue to grow, driven by the expansion of IoT, artificial intelligence, and cloud platforms. These technologies are expected to further optimize construction processes, reduce costs, and improve work quality, which are essential conditions for enhancing the competitiveness of the industry both in Ukraine and globally.

Keywords: SMART technologies, construction companies, cloud platforms, artificial intelligence, energy efficiency.