

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-82-83>

УДК 69.003:004.9:005.591.6

ХАРАКТЕРИСТИКА ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА РІВЕНЬ РОЗВИТКУ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ БУДІВЕЛЬНИМ БІЗНЕСОМ

CHARACTERISTICS OF FACTORS INFLUENCING THE LEVEL OF SMART TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN CONSTRUCTION BUSINESS MANAGEMENT

Ходак Володимир Дмитрович

аспірант,

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2638-1932>**Khodak Volodymyr**

Lviv Polytechnic National University

Впровадження SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом є складним багатофакторним процесом, ефективність якого визначається одночасною дією технологічних, економічних, соціально-організаційних, інфраструктурних та еколого-нормативних факторів. Обґрунтовано, що саме інтеграція цифровізації, автоматизації та інтелектуалізації створює базу для якісної трансформації управлінських підходів, однак реальна ефективність цих інновацій залежить від наявності інвестицій, зниження вартості впровадження та доступності технологічних рішень для широкого кола підприємств. Соціальні аспекти, зокрема підвищення рівня безпеки праці та оптимізація кадрових ресурсів, сприяють формуванню сприятливого середовища для цифрових змін, тоді як наявність розвиненої інфраструктури забезпечує технічну стійкість і масштабованість рішень. Усі зазначені фактори перебувають у постійній взаємодії та утворюють синергійну систему, в межах якої кожен елемент посилює інші, забезпечуючи комплексний і гармонійний розвиток SMART-технологій у галузі.

Ключові слова: SMART-технології, будівельний бізнес, цифровізація, автоматизація, факторний аналіз, масштабованість.

In the context of the digital transformation of the economy, the construction industry increasingly requires a transition to modern management models based on automation, digitalization, and the intellectualization of processes. The growing complexity of construction projects, higher requirements for resource efficiency, safety, and environmental responsibility necessitate the active implementation of SMART technologies as a complex of technical, software, and organizational solutions. The implementation of SMART technologies in construction business management is a complex multifactor process, the effectiveness of which is determined by the simultaneous influence of technological, economic, socio-organizational, infrastructural, and environmental-regulatory factors. It is substantiated that the integration of digitalization, automation, and intelligent systems forms the foundation for a qualitative transformation of managerial approaches; however, the actual effectiveness of these innovations depends on the availability of investment resources, the reduction of implementation costs, and the accessibility of technological solutions for a wide range of enterprises. Social aspects, in particular the improvement of occupational safety and the optimization of human resources, contribute to the creation of a favorable environment for digital transformation, while the presence of well-developed infrastructure ensures the technical stability and scalability of solutions. It is proven that environmental and regulatory requirements act not only as regulatory constraints but also as powerful catalysts for technological modernization, guiding the development of the construction business toward sustainable, safe, and responsible management. All these factors are in constant interaction and form a synergistic system in which each element reinforces the others, ensuring the comprehensive and balanced development of SMART technologies in the industry. As a result, a systemic consideration of these factors allows construction enterprises to develop coherent digital strategies, strengthen management system resilience, and secure long-term competitive advantages.

Keywords: SMART technologies, construction business, digitalization, automation, factor analysis, scalability.

Постановка проблеми. У сучасних умовах цифрової трансформації світового господарства впровадження інноваційних технологій набуває особливої актуальності в будівельній галузі, яка тривалий час характеризувалася значною інерційністю змін і низькою адаптивністю до нових управлінських практик. Зростання складності будівельних проектів, необхідність підвищення ефективності використання ресурсів, посилення вимог до безпеки та екологічної відповідальності, а також динамічні зміни у зовнішньому середовищі формують потребу в переході до нових моделей управління, які базуються на принципах автоматизації, діджиталізації та інтелектуалізації процесів. У цьому контексті особливе значення має розвиток SMART-технологій як сукупності технічних, програмних та організаційних рішень, що дозволяють комплексно трансформувати підходи до планування, реалізації та моніторингу будівельної діяльності. Системне впровадження таких технологій потребує не лише відповідної матеріально-технічної бази, а й глибокого розуміння комплексу зовнішніх і внутрішніх детермінант, які визначають темпи, масштаб і результативність цього процесу. Оцінка чинників, що впливають на розвиток SMART-технологій, дає змогу виявити основні бар'єри, стимули та умови, необхідні для ефективної інтеграції цифрових рішень у систему управління будівельним бізнесом. Наукове осмислення природи, структури та взаємозв'язків таких факторів є важливою передумовою для розробки стратегій цифрового розвитку підприємств галузі, обґрунтування управлінських рішень та формування сприятливого інституційного й економічного середовища. З огляду на це, класифікація факторів, що впливають на рівень розвитку SMART-технологій, виступає методологічним інструментом, який дозволяє систематизувати наявні впливи, забезпечити комплексний підхід до їхнього аналізу та виявити ключові напрями подальшого удосконалення управлінських механізмів у будівельній сфері.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних наукових публікацій засвідчує активний розвиток досліджень, присвячених упровадженню SMART-технологій у будівельному бізнесі як інструменту підвищення ефективності управління проектами, оптимізації використання ресурсів і зниження витрат. Так, у працях Величка В.В., Троненка М.І. [1] розглянуто підходи до цифровізації управління будівельними проектами

із застосуванням SMART-технологій і BIM, а Ключко А.А. [2] аналізує роль інформаційно-аналітичних систем у підвищенні ресурсної ефективності та контролі витрат.

У міжнародних дослідженнях Chen X., Chang-Richards A.Y., Pelosi A., Jia Y., Shen X., Siddiqui M.K., Yang N. [3] обґрунтовують доцільність використання BIM, IoT та аналітики великих даних для підтримки управлінських рішень, тоді як Ngo T., Hwang B.-G., Zhang C., Chen Z. [4] зосереджуються на впливі цифрових рішень на продуктивність і управління ризиками будівельних проектів. Організаційні аспекти цифрової трансформації висвітлено у працях Uusitalo P., Lavikka R. [5], а застосування штучного інтелекту для планування та прогнозування будівельних процесів – у дослідженнях Xu S., Wang J., Liu Y., Yu F. [6].

Питання сталого розвитку та екологічної відповідальності в контексті SMART-технологій розглядають Genkin M., McArthur J.J. [7], тоді як Schnell P., Haag P., Jünger H.C. [8] і Bäckstrand J., Fredriksson A. [9] аналізують інфраструктурні та логістичні передумови цифровізації будівельного бізнесу. У працях Tamošaitienė J., Zavadskas E.K., Turkis Z. [10] обґрунтовано застосування багатокритеріальних методів для підтримки управлінських рішень у будівництві.

Загалом наукові дослідження підтверджують, що SMART-технології є ключовим чинником трансформації управління будівельним бізнесом, забезпечуючи автоматизацію процесів і підвищення прозорості управлінських рішень. Водночас автори наголошують на наявності бар'єрів упровадження, зокрема високій вартості технологій і дефіциті кваліфікованих кадрів, що зумовлює потребу в комплексному підході до оцінювання факторів розвитку SMART-технологій у галузі.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на зростаючу увагу до впровадження SMART-технологій у будівельному бізнесі, низка аспектів цієї проблематики залишається недостатньо дослідженою. Більшість наявних робіт зосереджується на окремих технологічних рішеннях (BIM, IoT, цифрові платформи), не розглядаючи SMART-технології як цілісну управлінську систему, що формується під впливом взаємопов'язаних технологічних, економічних, соціально-організаційних, інфраструктурних та еколого-нормативних чинників. Крім того, у науковій літературі відсутній уніфікований підхід до системної класифікації

таких факторів у контексті управління будівельним бізнесом, що ускладнює порівняльний аналіз і практичне використання результатів досліджень. Недостатньо опрацьованими залишаються й взаємозв'язки між групами факторів та їх синергійний вплив на темпи й результативність цифрової трансформації управлінських процесів у будівництві, що зумовлює потребу в розробленні комплексної класифікаційної моделі.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є систематизація та класифікація факторів, що впливають на рівень розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, а також обґрунтування їх ролі та взаємодії у процесі цифрової трансформації галузі.

Виклад основного матеріалу дослідження. В умовах цифрової трансформації економіки будівельна галузь дедалі більше потребує переходу до сучасних управлінських моделей, заснованих на автоматизації, цифровізації та інтелектуалізації процесів. Ускладнення будівельних проєктів, зростання вимог до ефективності використання ресурсів, безпеки та екологічної відповідальності зумовлюють необхідність активного впровадження SMART-технологій як комплексу технічних, програмних і організаційних рішень. Водночас результативність їх застосування визначається не лише рівнем технологічної оснащеності, а й сукупністю внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на темпи та масштаби цифрових змін. Аналіз таких чинників дозволяє ідентифікувати ключові бар'єри й стимули розвитку SMART-технологій, а також сформувати обґрунтовані підходи до їх інтеграції в систему управління будівельним бізнесом [1]. У цьому контексті класифікація факторів розвитку SMART-технологій виступає важливим методологічним інструментом для системного аналізу та визначення пріоритетних напрямів удосконалення управлінських механізмів у будівельній сфері. У табл. 1 наведено запропоновану класифікацію факторів, які впливають на рівень розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом.

За технологічною ознакою до ключових факторів, що впливають на розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, відносяться фактори цифровізації, автоматизації та інтелектуалізації, кожен з яких відіграє важливу роль у трансформації управлінських процесів і підвищенні ефективності діяльності будівельних підприємств. Фактори цифровіза-

ції охоплюють стрімке впровадження хмарних технологій, які забезпечують постійний доступ до інформації в реальному часі, дають змогу оперативно коригувати хід будівельних робіт і підвищувати загальну прозорість управління проектами [2]. Розвиток мобільних застосунків, інтегрованих з управлінськими системами, значно спрощує комунікацію між учасниками будівельного процесу та мінімізує часові витрати на прийняття рішень, що особливо важливо в умовах високої динаміки проєктного середовища. Одночасно з цим спостерігається активне зростання ролі факторів автоматизації, які проявляються через впровадження пристроїв Інтернету речей (IoT), сенсорних технологій і цифрових інтерфейсів, що дозволяють здійснювати безперервний моніторинг стану об'єктів, обладнання і матеріальних ресурсів. Такі технології створюють передумови для зниження людського фактора в управлінні, зменшення аварійності, підвищення точності виявлення відхилень та забезпечення своєчасної реакції на ризики. Важливою складовою технічного прогресу в будівництві є також фактори інтелектуалізації, що базуються на використанні алгоритмів штучного інтелекту і машинного навчання, здатних здійснювати глибокий аналіз великих масивів даних для виявлення закономірностей, прогнозування ризиків і оптимізації розподілу ресурсів [3]. Завдяки впровадженню таких алгоритмів будівельні компанії отримують можливість точного планування витрат, прогнозування потреб у матеріалах і робочій силі, а також автоматизованого управління ланцюгами постачання. Зокрема, інтелектуальні системи виявлення ризиків дозволяють значно підвищити рівень безпеки на будівельних майданчиках, ідентифікуючи потенційні загрози ще до їхнього фактичного виникнення, що забезпечує не лише збереження ресурсів, а й охорону життя та здоров'я працівників. Таким чином, технологічні фактори, що включають цифровізацію, автоматизацію та інтелектуалізацію, формують цілісну інноваційну екосистему, яка забезпечує якісно новий рівень управління будівельними проєктами, сприяє підвищенню їхньої конкурентоспроможності, адаптивності до змінного середовища та відповідності сучасним стандартам ефективності й безпеки.

За економічною ознакою фактори, що впливають на розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, охоплюють інвестиційні імпульси, механізми зниження витрат та зростання доступності цифрових

Таблиця 1

**Класифікація факторів, які впливають на рівень розвитку SMART-технологій
в управлінні будівельним бізнесом**

Класифікаційна ознака	Види факторів	Характеристика факторів
За технологічною ознакою	Фактори цифровізації	Розвиток хмарних технологій, розширення функціоналу мобільних застосунків, доступ до реального часу
	Фактори автоматизації	Впровадження IoT-пристроїв, сенсорних технологій, систем ШІ та машинного навчання
	Фактори інтелектуалізації	Застосування алгоритмів прогнозування, інтелектуального аналізу даних, систем виявлення ризиків
За економічною ознакою	Інвестиційні фактори	Динаміка зростання фінансування у SMART-технології, привабливість інноваційних рішень для бізнесу
	Фактори зниження витрат	Скорочення адміністративних витрат, зменшення перевитрат бюджету, підвищення енергоефективності
	Фактори доступності технологій	Зниження вартості обслуговування, адаптація міжнародного ПЗ до локального ринку
За соціально-організаційною ознакою	Фактори безпеки	Зменшення аварійності на будівельних майданчиках, підвищення стандартів охорони праці
	Фактори кадрової оптимізації	Автоматизація рутинних завдань, оптимізація розподілу праці, підвищення ролі стратегічного управління персоналом
	Фактори взаємодії	Покращення комунікації між учасниками проєкту, прозорість управління
За інфраструктурною ознакою	Фактори доступу до даних	Наявність інфраструктури для зберігання й обробки інформації, зокрема хмарні сервіси
	Фактори інтеграції	Сумісність нових систем з існуючими процесами, можливість масштабування
За еколого-нормативною ознакою	Фактори сталого розвитку	Оптимізація споживання ресурсів, зниження кількості відходів, екологічна відповідальність
	Регуляторні фактори	Відповідність стандартам безпеки, дотримання екологічних норм, адаптація до регуляторного середовища

Джерело: сформовано автором на основі [1-10]

рішень, що в сукупності створюють економічне підґрунтя для активного впровадження інноваційних технологій у галузі [4]. Насамперед, ключову роль відіграють інвестиційні фактори, оскільки наявність фінансових ресурсів є визначальним чинником здатності будівельних компаній інтегрувати SMART-рішення у виробничі й управлінські процеси. Позитивна динаміка зростання інвестицій у цифрові технології, зафіксована як на міжнародному, так і на національному рівні, свідчить про високу зацікавленість бізнесу у впровадженні інновацій задля досягнення конкурентних переваг, зменшення витрат і

підвищення продуктивності. З іншого боку, суттєвими стимуляторами інноваційного розвитку є фактори зниження витрат, які проявляються через зменшення адміністративного навантаження, оптимізацію логістичних процесів і скорочення перевитрат бюджету завдяки впровадженню інтелектуальних систем управління. Застосування технологій штучного інтелекту та аналітичних алгоритмів дозволяє будівельним компаніям прогнозувати витрати з високим ступенем точності, уникати надлишкових закупівель матеріалів та ефективно перерозподіляти ресурси, що безпосередньо сприяє економії коштів і підви-

щенню рентабельності проєктів [5]. Особливо важливим у цьому контексті є вплив технологій на енергоефективність, адже автоматизовані системи дозволяють контролювати енергоспоживання на кожному етапі реалізації будівельного проєкту, що знижує операційні витрати та відповідає сучасним екологічним вимогам. Третій напрям економічних факторів – це фактори доступності технологій, які в останні роки набули особливого значення завдяки зменшенню вартості впровадження SMART-рішень, зокрема хмарних сервісів, платформ IoT та мобільних додатків. Ця тенденція відкриває нові можливості для малих і середніх будівельних компаній, які раніше були обмежені у доступі до сучасних цифрових рішень через високі витрати на апаратне забезпечення й спеціалізоване програмне забезпечення. Адаптація міжнародних технологій до умов локального ринку, поява локальних розробників і доступних ліцензійних моделей сприяють більш широкому поширенню інновацій у будівельній сфері, що дозволяє значно розширити економічну базу впровадження SMART-технологій. У підсумку, економічні фактори формують фундаментальні передумови для сталого розвитку цифрових технологій у будівництві, створюючи умови для фінансової життєздатності інновацій, зниження загальних витрат і забезпечення доступу до новітніх технологічних рішень для підприємств різного масштабу.

За соціально-організаційною ознакою фактори, що впливають на розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, охоплюють аспекти забезпечення безпеки праці, оптимізації кадрових ресурсів та удосконалення організаційної взаємодії між учасниками будівельних процесів, що в сукупності формують сприятливе середовище для впровадження інновацій у сферу управління [6]. Насамперед, одними з ключових чинників виступають фактори безпеки, які є надзвичайно актуальними в умовах підвищеного рівня ризиків на будівельних майданчиках. Інтеграція SMART-технологій, зокрема автоматизованих систем моніторингу та сенсорних пристроїв, забезпечує можливість постійного контролю за дотриманням норм охорони праці, виявлення потенційно небезпечних ситуацій у реальному часі та оперативного реагування на відхилення, що, за статистичними даними, дозволяє зменшити кількість нещасних випадків на об'єктах до 25 %. Ці переваги, своєю чергою, знижують соціальні ризики, пов'язані з втратою працездатності працівників, та підвищують рівень довіри персоналу до впроваджуваних технологій, що є критично важливим для формування інноваційно відкритого організаційного середовища. У цьому контексті особливого значення набувають фактори оптимізації кадрових ресурсів, які передбачають автоматизацію рутинних і повторюваних завдань з метою вивільнення часу та інтелектуального потенціалу працівників для вирішення більш складних, стратегічно орієнтованих задач. Застосування штучного інтелекту для управління графіками робіт, розподілом завдань і аналізу навантаження на персонал дозволяє забезпечити більш ефективне використання людського капіталу, зменшити втрати часу та підвищити загальну продуктивність колективу. Водночас зростає потреба у фахівцях нового типу – з високим рівнем цифрової компетентності, здатних взаємодіяти з аналітичними платформами, програмним забезпеченням і інтерфейсами управління, що, в свою чергу, стимулює оновлення системи професійної підготовки та внутрішньої організаційної культури. Третім важливим блоком соціально-організаційних факторів є чинники взаємодії, які охоплюють процеси комунікації, координації та контролю між усіма учасниками будівельного проєкту. SMART-технології, завдяки використанню цифрових платформ для обміну даними та інтерактивних панелей управління, забезпечують прозорість інформаційних потоків, синхронізацію дій та зменшення кількості помилок, пов'язаних із людським фактором або браком інформації [7]. Такий підхід дозволяє не лише пришвидшити прийняття рішень, а й запровадити ефективну модель управління на основі даних (data-driven management), що сприяє гармонізації організаційних структур та покращенню результатів співпраці в рамках реалізації будівельних проєктів. Отже, сукупність соціально-організаційних факторів створює передумови для успішної трансформації управлінських підходів у будівельній галузі, сприяє підвищенню рівня безпеки, ефективному використанню трудових ресурсів та формуванню високопродуктивного середовища на основі цифрової взаємодії.

За інфраструктурною ознакою фактори, що впливають на розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, охоплюють умови доступу до цифрових ресурсів, рівень технічної оснащеності підприємств, ступінь інтегрованості технологічних рішень у виробничі процеси та наявність підтримуваних працівниками, та підвищують рівень довіри персоналу до впроваджуваних технологій, що є критично важливим для формування інноваційно відкритого організаційного середовища. У цьому контексті особливого значення набувають фактори оптимізації кадрових ресурсів, які передбачають автоматизацію рутинних і повторюваних завдань з метою вивільнення часу та інтелектуального потенціалу працівників для вирішення більш складних, стратегічно орієнтованих задач. Застосування штучного інтелекту для управління графіками робіт, розподілом завдань і аналізу навантаження на персонал дозволяє забезпечити більш ефективне використання людського капіталу, зменшити втрати часу та підвищити загальну продуктивність колективу. Водночас зростає потреба у фахівцях нового типу – з високим рівнем цифрової компетентності, здатних взаємодіяти з аналітичними платформами, програмним забезпеченням і інтерфейсами управління, що, в свою чергу, стимулює оновлення системи професійної підготовки та внутрішньої організаційної культури. Третім важливим блоком соціально-організаційних факторів є чинники взаємодії, які охоплюють процеси комунікації, координації та контролю між усіма учасниками будівельного проєкту. SMART-технології, завдяки використанню цифрових платформ для обміну даними та інтерактивних панелей управління, забезпечують прозорість інформаційних потоків, синхронізацію дій та зменшення кількості помилок, пов'язаних із людським фактором або браком інформації [7]. Такий підхід дозволяє не лише пришвидшити прийняття рішень, а й запровадити ефективну модель управління на основі даних (data-driven management), що сприяє гармонізації організаційних структур та покращенню результатів співпраці в рамках реалізації будівельних проєктів. Отже, сукупність соціально-організаційних факторів створює передумови для успішної трансформації управлінських підходів у будівельній галузі, сприяє підвищенню рівня безпеки, ефективному використанню трудових ресурсів та формуванню високопродуктивного середовища на основі цифрової взаємодії.

За інфраструктурною ознакою фактори, що впливають на розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, охоплюють умови доступу до цифрових ресурсів, рівень технічної оснащеності підприємств, ступінь інтегрованості технологічних рішень у виробничі процеси та наявність підтриму-

вальної цифрової екосистеми, яка забезпечує стабільне функціонування інноваційних управлінських механізмів [8]. Одним із ключових чинників у цій групі є забезпечення безперешкодного доступу до даних, що передбачає наявність сучасної телекомунікаційної інфраструктури, зокрема високошвидкісного інтернету, захищених каналів передачі інформації та потужних центрів обробки даних, які уможливають зберігання, обробку та передачу великого обсягу інформації в режимі реального часу. Важливим компонентом цього процесу виступає використання хмарних сервісів, які забезпечують гнучкість, масштабованість та економічну доцільність організації цифрового середовища, дозволяючи будівельним компаніям ефективно керувати проєктами без потреби у розгалуженій локальній інфраструктурі. Наступною складовою виступають фактори технічної готовності підприємств до впровадження SMART-рішень, які визначаються наявністю сучасного апаратного забезпечення, зокрема сенсорних систем, контролерів, IoT-пристроїв, систем візуалізації даних і цифрових панелей управління, здатних забезпечити безперервний моніторинг процесів та автоматизовану взаємодію між різними елементами управлінської системи. Водночас важливою умовою успішного функціонування інфраструктури є інтеграція нових технологічних рішень з уже існуючими системами управління, обліку та контролю, що потребує узгодженості форматів даних, уніфікації інтерфейсів та забезпечення сумісності програмного забезпечення. Така інтегрованість дозволяє уникнути дублювання функцій, зменшити ризики інформаційного конфлікту та підвищити ефективність загальної цифрової архітектури підприємства [9]. Крім того, інфраструктурні фактори включають наявність підтримувальної екосистеми, яка охоплює не лише технічні, а й організаційні й регуляторні елементи, що забезпечують стале функціонування SMART-технологій. До таких елементів належать технічне обслуговування інтелектуальних систем, доступ до кваліфікованих IT-кадрів, наявність сервісних служб, здатних оперативно реагувати на технічні збої, а також правова база, що регулює доступ до даних, їхню обробку та зберігання відповідно до вимог безпеки та конфіденційності. Таким чином, інфраструктурні фактори формують базисну платформу для цифрової трансформації будівельного бізнесу, забезпечуючи надійність, гнучкість і стійкість управлінських процесів на всіх рівнях реалі-

зації проєктів, що є ключовою передумовою ефективного впровадження і масштабування SMART-технологій у сучасних умовах.

За еколого-нормативною ознакою фактори, що впливають на розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, пов'язані з необхідністю дотримання екологічних стандартів, реалізації принципів сталого розвитку, а також відповідності нормативно-правовим вимогам у сфері охорони довкілля та безпеки будівництва. Зростаючий тиск з боку міжнародних та національних екологічних зобов'язань спонукає будівельні компанії до впровадження технологій, які сприяють раціональному використанню природних ресурсів, зниженню рівня викидів та мінімізації впливу на довкілля. У цьому контексті надзвичайно важливу роль відіграють інтелектуальні системи моніторингу споживання енергії, води та матеріалів, які завдяки сенсорним пристроям і аналітичному програмному забезпеченню дозволяють відслідковувати ключові показники екологічної ефективності будівельних процесів у режимі реального часу. Такі системи не лише забезпечують оперативне реагування на екологічні загрози, а й створюють умови для впровадження політики ощадливого управління ресурсами, що відповідає вимогам «зеленого будівництва». Особливо актуальними є цифрові інструменти прогнозування обсягів відходів та автоматизованого планування логістики, які дозволяють зменшити перевитрати матеріалів, забезпечити їх раціональний перерозподіл і сприяти утилізації або вторинному використанню, що відповідає принципам циркулярної економіки. Паралельно з цим нормативна складова чинить безпосередній вплив на рівень технологічної модернізації, адже вимоги державного регулювання, міжнародних стандартів і будівельних норм дедалі частіше включають критерії цифровізації, прозорості звітності та відповідності сертифікаційним системам, таким як BREEAM або LEED. Використання SMART-рішень у цьому контексті значно спрощує процеси аудиту, контролю й підготовки звітної документації, дозволяючи забезпечити відповідність нормативним вимогам у автоматизованому режимі, що знижує адміністративне навантаження на компанії та сприяє зменшенню ризиків юридичної відповідальності [10]. Крім того, цифрові платформи управління дозволяють інтегрувати функції контролю за дотриманням нормативів безпеки праці, забезпечуючи оперативну ідентифікацію небезпечних ділянок, прогнозування ризи-

ків і підготовку заходів запобіжного характеру. Таким чином, еколого-нормативні фактори виступають не лише обмеженням, а й потужним стимулом для впровадження інновацій у будівельній галузі, оскільки створюють мотивацію для переходу до технологічно розвинутих, безпечних та екологічно відповідальних форм ведення бізнесу, що відповідають сучасним вимогам сталого розвитку та міжнародної інтеграції.

Усі групи факторів, що впливають на розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, перебувають у тісному взаємозв'язку і формують єдину інтегровану систему, в якій кожен елемент посилює або доповнює дію інших, забезпечуючи узгоджене функціонування інноваційної моделі управління. Технологічні фактори виступають фундаментом усієї трансформації, оскільки саме впровадження цифрових, автоматизованих та інтелектуальних рішень створює інструментальну базу для реалізації управлінських змін, проте їх ефективність значною мірою залежить від економічних факторів, які визначають доступність, доцільність і масштаб впровадження таких технологій. Наприклад, високі інвестиції в інтелектуальні системи моніторингу не матимуть належного впливу без відповідного економічного середовища, що забезпечує їх фінансування, окупність і мотивацію до впровадження серед підприємств різного масштабу. У свою чергу, економічні фактори нерозривно пов'язані з соціально-організаційними умовами, адже саме ефективне управління трудовими ресурсами, оптимізація комунікацій та підвищення рівня безпеки дозволяють не лише знизити витрати, а й забезпечити максимальну продуктивність нових технологічних рішень. При цьому високий рівень цифрової взаємодії між учасниками проєктів потребує розвиненої інфраструктури, яка забезпечує безперервний обмін даними, функціонування аналітичних платформ і безпеку обробки інформації. Інфраструктурні фактори є обов'язковою умовою функціонування як технологічних, так і соціально-організаційних інновацій, оскільки без технічної підтримки, сумісного програмного забезпечення та стійких каналів зв'язку будь-яка цифрова трансформація залишатиметься фрагментарною. Водночас еколого-нормативні фактори виконують роль зовнішнього регулятора, який задає вектор розвитку всієї системи, визначаючи пріоритети в напрямку безпечного, відповідального й сталого управління, що спонукає до інтеграції саме таких

рішень, які забезпечують дотримання екологічних норм і підвищення рівня прозорості. Екологічні вимоги стимулюють інвестиції в енергоефективні рішення, створюють попит на технології з прогнозування споживання ресурсів і керування відходами, а нормативна база – вимагає формування цифрових інструментів для звітності, контролю і аудиту, що безпосередньо сприяє розвитку інфраструктури та підтримці технологічної модернізації. Таким чином, усі фактори діють синергійно: економічні ресурси забезпечують технологічне оновлення; соціально-організаційна складова формує людську і комунікаційну підтримку змін; інфраструктурна база створює технічні умови для реалізації інновацій; а еколого-нормативні обмеження спрямовують розвиток у русло відповідального й сталого управління. У результаті формується цілісна модель, в якій кожна група факторів не лише виконує власну функцію, а й посилює ефективність інших, забезпечуючи гармонійне впровадження SMART-технологій у будівельному бізнесі як на рівні окремих підприємств, так і на рівні галузі в цілому.

У процесі дослідження було побудовано класифікацію факторів, що впливають на рівень розвитку SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом, із виділенням п'яти класифікаційних ознак: технологічної, економічної, соціально-організаційної, інфраструктурної та еколого-нормативної. Кожну групу факторів охарактеризовано у взаємозв'язку з іншими, що дозволило розкрити їхню роль у формуванні цілісної інноваційної моделі управління в будівельній галузі.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що розвиток SMART-технологій в управлінні будівельним бізнесом є складним багатофакторним процесом, який формується під впливом сукупності взаємопов'язаних технологічних, економічних, соціально-організаційних, інфраструктурних та еколого-нормативних чинників. Запропонована класифікація факторів дозволяє системно відобразити умови та передумови цифрової трансформації управління в будівельній галузі, а також ідентифікувати ключові стимули й бар'єри впровадження SMART-рішень. Доведено, що технологічні фактори створюють інструментальну основу цифрових змін, економічні - визначають можливість і масштаб їх реалізації, соціально-організаційні - забезпечують кадрову та комунікаційну підтримку трансформації, інфраструктурні – формують

технічну стійкість і масштабованість рішень, а еколого-нормативні – задають вектор сталого та відповідального розвитку. Їхня взаємодія має синергійний характер і зумовлює формування цілісної інноваційної моделі управління будівельним бізнесом.

Отримані результати можуть бути використані як методологічна основа для розроблення стратегій цифрового розвитку будівельних підприємств, удосконалення управлінських рішень та подальших наукових досліджень у сфері SMART-управління.

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 (дата звернення 15.01.2026).
2. Ключко А. А. Цифрові технології в галузі архітектури і будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 48. С. 61–68. DOI: <https://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. (2022). Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 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*. 11–15 October 2021, Luxembourg. URL: <https://itc.scix.net/pdfs/w78-2021-paper-023.pdf> (дата звернення 10.01.2026).
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). P. 1147. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13051147>
7. Genkin M., and McArthur J. J. B-SMART: A Reference Architecture for Artificially Intelligent Autonomic Smart Buildings. *arXiv preprint*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.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>

REFERENCES:

1. Velychko, V. V., & Tronenko, M. I. (2019). Bar'ieri ta pereshkody vprovadzhennya kontseptsii 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 (accessed 15.01.2026)
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://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. (2021). Impact of smart technologies on construction projects: Improvements in project performance. *Proceedings of the Conference CIB W78 2021*, October 11–15, Luxembourg. Available at: <https://itc.scix.net/pdfs/w78-2021-paper-023.pdf> (accessed 10.01.2026)
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), pp. 1147. 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. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.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>

Дата надходження статті: 04.12.2025

Дата прийняття статті: 16.12.2025

Дата публікації статті: 29.12.2025