

Цифровізація як фактор інтенсивного розвитку виробничого потенціалу підприємств будівельної індустрії

Садов'як М. Б.¹, Мазник Ю. І.², Секретар І. В.³, Старецький А. О.⁴, Волос М. В.⁵

Опубліковано	Секція	УДК
15.02.2024	Економіка	378.14

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10667332>

Ліцензовано за умовами Creative Commons BY 4.0 International license

Анотація. У статті досліджено сучасний стан та перспективи цифровізації підприємств будівельної індустрії. Виявлено, що цифровізація є ключовим фактором підвищення конкурентоспроможності та інтенсивного розвитку виробничого потенціалу будівельних компаній. Встановлено, що основними трендами світового ринку в цій сфері є впровадження BIM-технологій, хмарних сервісів, штучного інтелекту, робототехніки, 3D-друку тощо. Прогнозується, що попит на передові цифрові технології в будівництві буде й надалі зростати. В статті також розглянуто бар'єри, які можуть загальмувати цифрову трансформацію будівельної галузі в Україні. Зокрема, до них відносяться: низький рівень інвестицій у цифрові технології, нестача кваліфікованих кадрів, недосконалість законодавства та бюрократія. Впровадження запропонованих у статті заходів сприятиме цифровізації будівельної індустрії України та інтенсивному розвитку її виробничого потенціалу.

Ключові слова: цифровізація, будівництво, BIM, хмарні сервіси, штучний інтелект, робототехніка, 3D-друк, будівельна індустрія.

Digitization as a factor of intensive development of production potential of construction industry enterprises

Abstract. The current stage of development in the construction industry is characterized by the rapid implementation of digital technologies, significantly affecting all its operational aspects. Digitization has become a key factor in enhancing competitiveness and the intensive development of the production potential of construction companies.

The article explores the current state and prospects of digitization in construction industry enterprises. It has been found that digitization is a key factor in enhancing competitiveness and intensively developing the production potential of construction companies. It is established that the main trends in the global market in this field include the implementation of BIM technologies, cloud services, artificial intelligence, robotics, 3D printing, etc. The demand for advanced digital technologies in construction is expected to continue to grow. The article also discusses the barriers that could slow down the digital transformation of the construction sector in Ukraine. These include a low level of investment in digital

¹ аспірант НУ «Львівська політехніка», <https://orcid.org/0009-0001-0214-1320>

² аспірант НУ «Львівська політехніка», <https://orcid.org/0009-0009-8834-7466>

³ аспірант НУ «Львівська політехніка», <https://orcid.org/0009-0003-0742-3612>

⁴ аспірант НУ «Львівська політехніка», <https://orcid.org/0009-0001-5069-6144>

⁵ аспірант ЗВО «Львівський університет бізнесу та права», <https://orcid.org/0009-0002-4178-5556>

technologies, a shortage of qualified personnel, imperfections in legislation, and bureaucracy. The implementation of the measures proposed in the article will facilitate the digitization of the construction industry in Ukraine and the intensive development of its production potential.

In summary, the following conclusions can be drawn. Digitization is an inevitable trend in the development of the construction industry. The introduction of digital technologies significantly enhances the competitiveness and intensifies the development of the production potential of construction enterprises. There are certain barriers that hinder the digital transformation of the construction industry in Ukraine. Overcoming these barriers and promoting the digitization of construction requires joint efforts from the state, business, and the scientific community.

It is important to note that the digitization of the construction industry is not just about introducing new technologies. It is a comprehensive task that requires a systematic approach.

Keywords: digitization, construction, BIM, cloud services, artificial intelligence, robotics, 3D printing, construction industry.

Вступ

Сучасний етап розвитку будівельної індустрії характеризується стрімким впровадженням цифрових технологій, що значною мірою впливає на всі аспекти її функціонування. Цифровізація стає ключовим фактором підвищення конкурентоспроможності та інтенсивного розвитку виробничого потенціалу будівельних компаній.

Питанням цифровізації будівельної індустрії присвячено значну кількість наукових досліджень. Останнім часом цю тему досліджували такі автори, як: Х. Едесесс, М. Він, Р. Хасленер, Ф. Жоберт, Ж. Брунеллі, А. Ногара та ін.

Метою даної статті є дослідження сучасного стану та перспектив цифровізації підприємств будівельної індустрії, а також визначення шляхів інтенсифікації розвитку їх виробничого потенціалу на основі впровадження цифрових технологій.

Результати

Цифровізація охоплює всі етапи життєвого циклу підприємств будівельної індустрії: планування, проектування, зведення, експлуатацію та знос. «Ядром» цифрової трансформації галузі є технології інформаційного моделювання, або BIM-технології (Building Information Model), початок впровадження яких припадає на 2000-ті роки. BIM — це не просто комп'ютерна 3D-модель будівлі, що прийшла на зміну двовимірним паперовим кресленням. Крім «геометрії», BIM інтегрує безліч шарів інформації в розрізі елементів об'єкта, в тому числі]використовувані матеріали, специфікації, вартість, план-графік будівельних робіт, функціональні та експлуатаційні характеристики та навіть умови навколишнього середовища. При цьому зміна будь-якого з параметрів будівлі веде за собою автоматичну зміну пов'язаних з ним показників та об'єктів. BIM дозволяє передавати віртуальну інформаційну модель від команди розробників генеральному підряднику та субпідрядникам, а потім власникам або операторам будівлі.

Цифрове моделювання міст (City Information Modeling, CIM) - це порівняно новий тренд, який з'явився завдяки об'єднанню BIM, GIS (геоінформаційних систем) з цифровими двійниками на базі Інтернету речей, а також удосконаленню технологій оцифрування місцевості та міських об'єктів за допомогою лазерного, ультразвукового сканування. CIM (або цифровий двійник міста) містить просторові та тематичні дані. Просторові дані описують фізичну структуру міста та формують його 3D-модель, включаючи цифрову модель місцевості, CAD- або BIM-моделі будівель, інфраструктури, інженерних систем тощо. Тематичні дані охоплюють соціальні, економічні та екологічні параметри території - дані перепису населення, відомості про транспортні потоки,

щоденні переміщення жителів за даними мобільних операторів, реєстри об'єктів, технічну інформацію та інше.

Бережливе будівництво (Lean Construction, LC) - це один із напрямків підвищення ефективності управління будівельними проектами, який досягається, в тому числі, за допомогою збору та максимального використання корисної інформації про проекти (сьогодні збирається лише 5% проектних даних), а також застосування таких методів, як поставки "точно в строк", "останній планувальник" (Last Planner System) та ін. Розвиток цифрових технологій сприяє реалізації принципів LC [3].

Так, за допомогою комп'ютерного зору, Інтернету речей та носимих пристроїв можна: слідкувати за наявністю матеріалів, станом обладнання та діями робітників в режимі онлайн; оцінювати ефективність, якість та безпечність робіт; виявляти потенційні ризики на будмайданчику. Штучний інтелект дає можливість автоматизувати рутинні завдання; прогнозувати терміни виконання робіт; оптимізувати використання ресурсів; підвищувати загальну продуктивність будівництва. Застосування LC може призвести до зменшення витрат на будівництво; скорочення термінів виконання робіт; підвищення якості будівництва; покращення безпеки праці.

Широкого застосування набувають хмарні цифрові рішення для спільної роботи в режимі реального часу та управління будівельними проектами, доступні через мобільні додатки або зі спеціальних планшетів. Вони створюють єдине середовище взаємодії всіх учасників (включно з архітекторами, проектувальниками, інженерами, виконробами, майстрами, постачальниками і підрядниками), можливість розподілу і моніторингу виконання завдань на будмайданчику, обмін документацією, розміщення звітності про перебіг робіт (включно з фотографіями), можливість спільного редагування документів, формування планів-графіків та ін.

Цифровізація зачіпає безпосередньо роботи на будмайданчику: автоматизуються або роботизуються рутинні або фізично важкі операції, наприклад, зварювання, встановлення і скріплення арматури, підйом і переміщення вантажів, оздоблювальні роботи тощо. Тестуються роботизовані комплекси для укладання цегли [6]. Впроваджується безпілотна важка будівельна техніка. За допомогою дронів здійснюється моніторинг ходу будівельних робіт. 3D-друк як перспективний у довгостроковому періоді метод зведення будівель також ґрунтується на цифрових технологіях. Трансформується індустріальне, або модульне, домобудівництво. Дедалі ширше застосовується принцип DIMC (designing for industrialized methods of construction) - дизайн для індустріального виробництва, в рамках якого в проєкт від самого початку закладаються можливості використання елементів (модулів), виготовлених на цифрових фабриках безпосередньо за інформаційною моделлю будівлі.

Цифрові технології потенційно можуть вирішити безліч традиційних проблем підприємств будівельної індустрії. Застосування BIM-технологій знизить до 40% ймовірність помилок і похибок у проєктній документації порівняно з традиційними методами проектування, на 20-50% скоротить час на розроблення проєкту, у 6 разів зменшить час на його перевірку. Згідно з опитуваннями, понад 60% українських організацій будівельної сфери відзначають серед основних ефектів від впровадження BIM поліпшене розуміння проєкту всіма учасниками, вищу якість проєкту, доступність інформації, швидке передавання даних і обмін інформацією. У 81% організацій ефект від використання BIM, реально отриманий під час роботи з проєктами, перевершив очікування. CIM допомагають планувати забудову, мінімізувати містобудівні помилки, визначати навантаження на інфраструктуру (комунальну, транспортну, соціальну та ін.) і необхідність створення нових об'єктів, зокрема з урахуванням особливостей ландшафту, розташування будівель і доріг, зростання населення і потреб жителів. CIM

також дає змогу оцінювати в режимі реального часу й аналізувати стан міських об'єктів і систем, керувати процесами онлайн, оцінювати реакцію на можливі зміни.

Ощадливе будівництво скорочує витрати і дає можливість подолати низку типових для будівельної галузі проблем, таких як затримка поставок матеріалів, зрив термінів, оперативне внесення змін до плану робіт тощо. Наразі лише 50% проєктів укладається в графік, а із застосуванням LC, заснованого на цифрових технологіях, ця частка може зрости до 70% [3].

Автоматизація, роботизація, використання дронів, безпілотної будівельної техніки та префабрикація дають змогу подолати специфічні проблеми розвитку будівельного комплексу - високу трудомісткість, фізичну складність операцій на будмайданчику, а також високий рівень травматизму (рис. 1).

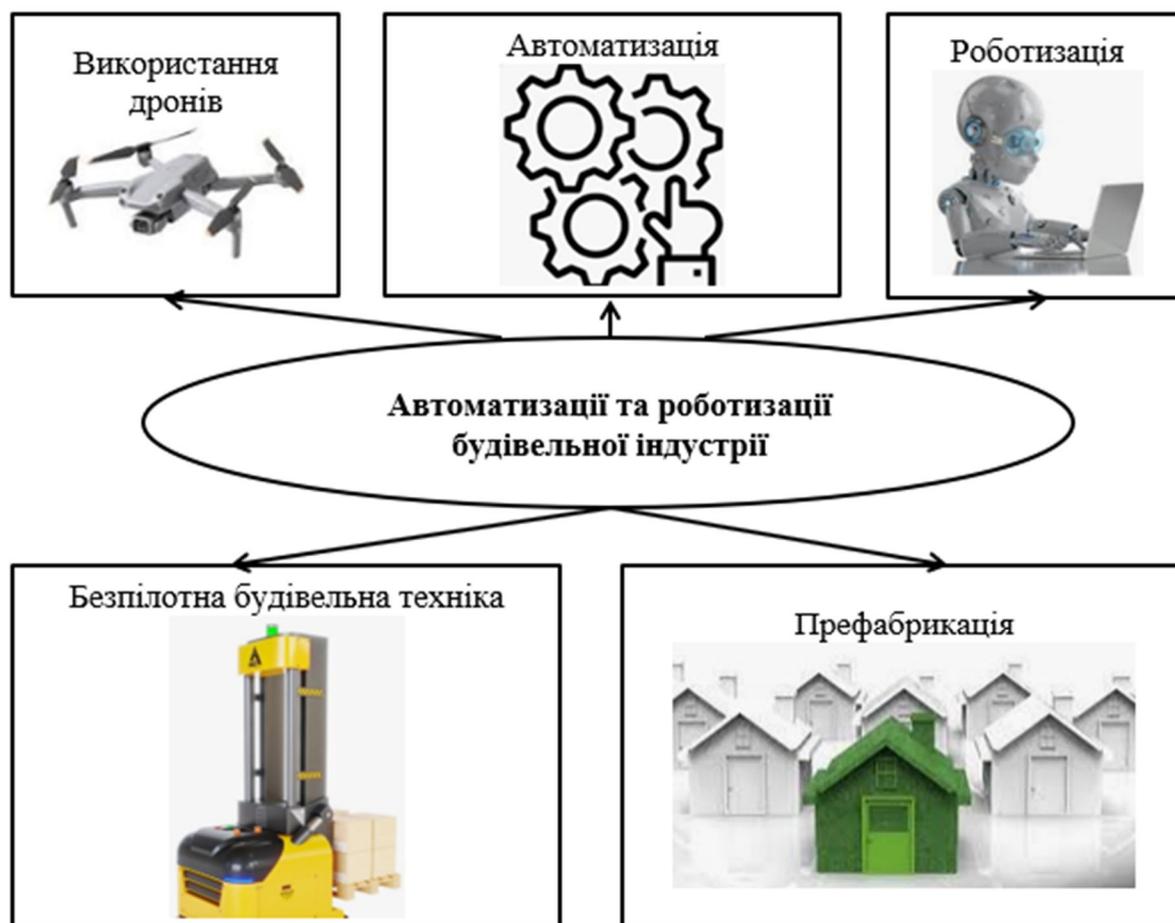


Рис. 1. Автоматизації та роботизації будівельної індустрії
Узагальнено авторами

Зазначені рішення також прискорюють будівництво, допомагають знизити витрати. За нашими оцінками, у перспективі до 50% робіт у будівельній галузі може бути автоматизовано. Поєднання цифрових фабрик, BIM, принципу модульного дизайну (DIMC) і нових екологічних матеріалів (зокрема CLT панелей із деревини) здатне трансформувати малоповерхове житлове будівництво, реалізувавши в ньому принцип масової кастомізації, знизивши водночас собівартість і одночасно підвищивши якість і рівень стандартизації.

У розвинених країнах уже понад 50% будівельних організацій застосовують BIM-технології, що часто зумовлено введенням випереджальних вимог з боку держави. Так, у Великій Британії рівень впровадження BIM у 2019 р. становив 70%, тоді як у 2011 р. - тільки 10% [5]. Таке різке зростання пов'язане з тим, що уряд Великої Британії затвердив вимогу про використання "fully collaborative 3D BIM" у державних проєктах. У Сінгапурі вже з 2015 р. застосування інструментів BIM визнано обов'язковим під час розроблення та реалізації будівельних проєктів площею від 5 тис. кв. м. Якщо раніше проєктування з використанням BIM коштувало в 2-3 рази дорожче, ніж звичайне, то зараз різниця у вартості становить близько 30%.

Цифрові моделі (CIM) є у багатьох міст (Сінгапура, Бостона, Гельсінкі, Роттердама, Стокгольма, Ренна, Антверпена, Джайпура тощо). Так, за підтримки уряду Сінгапуру створено цифровий двійник міста, який охоплює майже 95% його площі [4]. Використання різної робототехніки, дронів і безпілотної техніки на будмайданчиках набирає обертів у таких країнах, як Китай, Німеччина, Велика Британія, Японія, Південна Корея, США. В Україні також є пілотні проєкти, здебільшого з моніторингу ходу будівництва за допомогою дронів. Слід відзначити певний прогрес у цифровізації виробничих і бізнес-процесів індустріального будівництва в Україні - наприклад, найбільші компанії використовують програми-планувальники для оптимізації логістики та постачання "точно в строк", хмарні рішення для моніторингу робіт на будмайданчику і постановки завдань, роботизують виробництва залізобетонних фасадних панелей.

Цифровізація зачіпає не тільки наявні в галузі компанії, а й супроводжується появою нових стартапів. Так, за оцінками, близько 57% світових стартапів у сфері житлового будівництва безпосередньо пов'язані з розвитком і впровадженням цифрових технологій (переважно програмного забезпечення та ІТ-додатків для проєктування і спільного управління проєктами). Ще близько 10% нових компаній впроваджують передові методи зведення будинків (передусім малоповерхових), також засновані на цифрових технологіях, включно з 3D-друком.

Таблиця 1

Кейси впровадження цифрових технологій у галузі світової будівельної індустрії

Країна	Характеристика
Повністю роботизоване будівництво музею у Південній Кореї	Сферичну будівлю музею робототехніки в Сеулі планується відкрити у 2024 р. Над будівництвом музею працюють дві команди роботів: перша команда займається зведенням фасаду будівлі на основі інформаційної моделі, самостійно обробляючи металеві пластини, а друга команда забезпечує створення навколишнього ландшафту за допомогою 3D-принтерів, що друкують бетоном. Для моніторингу будівельних робіт використовуються компактні дрони. Впровадження цифрової технології дозволило істотно скоротити часові, виробничі та трудовитрати [1].
3D-друк житлових будинків у Нідерландах	Будівельна компанія Houben & Van Mierlo Architecten спільно з Технологічним університетом Ейндховена за допомогою 3D-друку здійснює будівництво нових житлових будинків для городян в Ейндховені (Нідерланди), де розташоване велике число компаній, що займаються розвитком високих технологій. Використовуваний у будівництві цих будинків

Країна	Характеристика
	3D-принтер є великим роботом-маніпулятором, який шар за шаром наносить спеціальний розчин цементу. Таке рішення забезпечило можливість розміщення у стінах інженерних комунікацій, електропроводки і бездротових датчиків "розумного будинку". Цей проект покликаний значно скоротити фінансові витрати міста [2].

Узагальнено авторами

Серед найбільш затребуваних будівельним сектором передових цифрових технологій у майбутньому - технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR), ШІ, технології бездротового зв'язку та нові виробничі технології (табл. 2).

Таблиця 2

Перспективи використання передових цифрових технологій в будівництві

Технологія	Обґрунтування
Група "Нейротехнології та штучний інтелект"	
Комп'ютерний зір	Комп'ютерний зір застосовується на етапах проектування і реалізації будівельних об'єктів. Ця технологія дає змогу збирати, обробляти й аналізувати цифрові зображення, а також отримувати багатовимірні дані про об'єкти реального світу. Комп'ютерний зір застосовується в будівництві для виявлення пошкоджень і фіксації дефектів будівельних конструкцій, моніторингу безпеки споруд та оцінки прогресу виконання будівельних проєктів. Рівень технологічної готовності поступово підвищується, кількість застосовуваних у галузі рішень зростає.
Обробка природної мови	Будівельна індустрія - це добре структурована сфера діяльності: більшість процесів чітко описані, добре документуються і виконуються в рамках чітких регламентів і стандартів. Проектна документація, технічні завдання, акти та форми перевірки якості, експлуатаційна документація, заяви та форми фіксації інцидентів можуть аналізуватися за допомогою зазначеної технології. Масштаб застосування величезний, наразі глибина проникнення технологій у цій галузі низька.
Розпізнавання і синтез мовлення	Крім стандартної сфери застосування технологій розпізнавання мови, де додатки на базі цієї технології використовуються для голосового введення інформації при створенні різного типу документів, розвивається сфера голосового управління. Досягнення в галузі створення автономних транспортних засобів дають змогу спрогнозувати, що незабаром будівельна техніка виконуватиме завдання без участі оператора. При цьому подібна техніка, як і раніше, вимагає наявності методів взаємодії з людьми. Недавні поліпшення в розпізнаванні мови означають, що використання природного голосового інтерфейсу можливе й ефективно.
Рекомендаційні системи та інтелектуальні	Рекомендаційні системи та інтелектуальні системи підтримки ухвалення рішень (СПУР) активно застосовуються в галузі

Технологія	Обґрунтування
системи підтримки прийняття рішень	<p>будівництва на різних етапах. Якість рішень на базі цієї технології вдосконалюється.</p> <p><i>Проектування будівельних об'єктів</i></p> <p>Методи та інструменти ШІ, такі як системи, що ґрунтуються на знаннях, нечітка логіка, нейронні мережі, генетичні алгоритми, метод Монте-Карло в царині створення імітаційних моделей, генеративний дизайн, можна використовувати на ранній стадії проектування, щоб покращити процес ухвалення рішень і оптимізувати як процес проектування, так і сам проєкт.</p> <p><i>Фінансове планування</i></p> <p>Аналіз витрат можна автоматизувати за допомогою п'ятимірної інформаційної моделювання будівель (5D BIM). Методологічна основа для аналізу грошових потоків і фінансування проєктів враховує типи контрактів і витрат на обладнання, заробітну плату і матеріали. Для перевірки пропозованих рішень використовуються сценарії "що, якщо".</p> <p><i>Управління будівництвом</i></p> <p>Існуючі методи підтримки ухвалення рішень на основі BIM використовуються для швидкого створення альтернатив, оцінювання кількох показників і візуалізації альтернативних планів до фактичного будівництва. Такі методи були здебільшого спрямовані на проектування та будівництво будівель. Але останнім часом їх застосування розширюється і на генеральне планування великомасштабних проєктів.</p> <p><i>Управління закупівлями, вибір постачальників і матеріалів</i></p> <p>Інструменти підтримки ухвалення рішень, які об'єднують інформаційне моделювання будівель і картографічні сервіси для вибору надійних джерел закупівлі будівельних матеріалів.</p>
Нейроінтерфейси, нейростимуляція та нейросенсінг	<p>Елементи управління на базі нейроінтерфейсів можуть значно підвищити здатність будівельної техніки справлятися з великомасштабними лихами та аваріями. Далі сферу застосування може бути розширено на будівництво об'єктів у недоступних або небезпечних для людини місцях, і, понад те, будівництво складних об'єктів у ширшому розумінні може відбуватися з використанням такої техніки для гарантування безпеки та комфорту працівників - операторів будівельної техніки.</p>
Група "Технології розподіленого реєстру"	
Технології організації і	Технології організації та синхронізації даних застосовують під час державної реєстрації договорів участі в пайовому будівництві

Технологія	Обґрунтування
синхронізації даних	
Технології забезпечення цілісності та несуперечливості даних (консенсус)	Алгоритм консенсусу математично формує умови, при застосуванні яких підробка даних неможлива. Дана технологія на даний час не знайшла широкого застосування в будівельній індустрії, водночас зазначена технологія може забезпечити захист даних від несанкціонованих транзакцій у разі пайового фінансування будівельних проєктів на ранніх етапах.
Технології створення та виконання децентралізованих додатків і смартконтрактів	Ця технологія не має високого попиту в будівельній індустрії на сьогодні. Водночас технології смартконтрактів володіють високим потенціалом і можуть застосовуватися під час пайового фінансування будівельних проєктів з метою відстеження транзакцій під час використання механізму ескроу та аналізу виконання укладених договорів.
Група "Квантові технології"	
Квантові обчислення	Нині завдання синтезу нових будівельних матеріалів може вирішуватися із застосуванням методів квантової хімії. Квантові обчислювальні методи не використовуються через відсутність відповідних пристроїв. У перспективі має бути сформульовано перелік необхідних будівельних матеріалів із заданими властивостями, а головне, розроблено конкретні алгоритми розрахунку спектрів хімічних молекул/речовин, що задовольняють цим властивостям.
Цифрове проєктування, математичне моделювання та управління життєвим циклом виробу або продукції (Smart Design)	Високі темпи розвитку будівництва та виробництва будівельних матеріалів ініціюють застосування зазначених технологій, насамперед у сфері проєктування будівель (BIM-технології). У перспективі, з огляду на складність технологій будівництва та інженерного забезпечення будівельних об'єктів, рівень застосування цієї технології буде істотно підвищено.
Технології розумного виробництва (Smart Manufacturing)	Високі темпи розвитку будівництва та виробництва будівельних матеріалів ініціюють застосування зазначених технологій, однак у сфері будівництва та експлуатації будівельних об'єктів ці технології наразі використовуються меншою мірою, ніж у промисловості. У перспективі попит буде істотно підвищений.
Маніпулятори та технології маніпулювання	Наразі в будівництві технології маніпулювання використовують переважно під час виробництва будівельних матеріалів на відповідному обладнанні. У перспективі з розвитком BIM-технологій і автоматизацією процесів будівництва ручна робота буде практично виключена - більшість процесів виконуватимуть маніпулятори.

Технологія	Обґрунтування
Група "Компоненти робототехніки та сенсорика"	
Сенсори і цифрові компоненти РТК для людино-машинної взаємодії	Активний розвиток нових форм будівництва - використання роботів-кам'яноукладальників та адитивних роботів - наразі не підкріплений нормативно-правовим регулюванням, окрім того, для використання адитивних роботів (3D-друку) необхідне залучення інших технологій, зокрема створення нових матеріалів.
Технології сенсорно-моторної координації та просторового позиціонування	Сенсомоторна координація і просторове позиціонування для будівництва використовуються недостатньо активно. Водночас ця технологія може надалі бути використана для швидкокомтованих конструкцій.
Сенсори і обробка сенсорної інформації	Існуючі методи використання сенсорів обмежуються, як правило, статистичними елементами. Перспективним є розвиток напряду з робототехнічних засобів будівництва та адитивних технологій, однак наразі їх використовують лише на допоміжних етапах, таких як спорудження легкокомтованих конструкцій.
Група "Технології бездротового зв'язку"	
WAN (Wide Area Network)	Використання мереж WAN на базі мереж 5G ліцензованого спектра є критичним для автоматизації процесів під час будівництва.
LPWAN (Low Power Wide Area Network)	Забезпечення бездротового доступу в неліцензованому спектрі для широкого спектра додатків, пов'язаних телеметрією. Застосування LPWAN у будівництві дасть змогу контролювати низку некритичних параметрів.
WLAN (Wireless Local Area Network)	Мережі WLAN в Україні використовуються в будівництві мало, в основному для організації передачі даних на останній милі. У разі підвищення рівня автоматизації будівництва, оцифрування процесів тощо, виникне високий попит на бездротові технології WLAN, оскільки велика кількість процесів не критичні, і можуть бути використані технології спектра, що не ліцензується.
PAN (Personal Area Network) RFID (HFи UHF-метки)	Технології RFID наразі вже застосовуються в будівництві. Прогноз зростання застосування технологій PAN у цій галузі скромний.
Супутникові технології зв'язку (СТЗ)	Застосування передавання даних за допомогою СТЗ у галузі будівництва досить обмежене через техніко-економічні показники. Високого зростання в цьому сегменті не очікується, у зв'язку з чим оцінка ролі технології в подальшому розвитку цього сектора економіки низька.
Група "Технології віртуальної та доповненої реальності"	
Засоби розробки VR/AR-контенту і технології вдосконалення користувачького	Наразі засоби розроблення VR/AR-контенту застосовуються на етапі проектування будівель. Водночас важливо зазначити, що розширення застосування таких технологій - ключова передумова для подальшого розвитку віртуальних 3D-моделей і збільшення попиту на цю технологію.

Технологія	Обґрунтування
досвіду (UX) з боку розробника	
Платформні рішення для користувачів: редактори створення контенту та його дистрибуції	Платформні рішення на основі технологій віртуальної та доповненої реальності застосовують для супроводу проектування з використанням доповненої реальності, під час здійснення будівельного нагляду та під час навчання фахівців. Технологія має високий потенціал.
Технології захоплення рухів у VR/AR і фотограмметрії	Для технології захоплення рухів у VR/AR і фотограмметрії характерна початкова стадія впровадження. Ці технології застосовуються під час розв'язання завдань із територіального та ландшафтного планування, реалізації архітектурних проєктів будівель і споруд, а також під час використання VR-симуляторів для навчання інженерів.
Технології графічного виведення	Для технологій графічного виведення нині характерна недостатня функціональність рішень. Рішення на основі цієї технології застосовуються під час проектування з використанням доповненої реальності, а також під час навчання персоналу.
Технології оптимізації передачі даних для VR/ AR	Використання цієї технології наразі обмежене застосуванням мереж п'ятого покоління. У будівництві реалізуються окремі рішення з організації роботи бездротових інтерфейсів передачі даних для шоломів віртуальної реальності.

Узагальнено авторами

Незважаючи на загалом позитивні глобальні тенденції, цифровізація будівництва ускладнюється низкою чинників, таких як:

- гостра нестача кваліфікованих кадрів для роботи з новим обладнанням і цифровими рішеннями, включно з програмним забезпеченням для BIM;
- тривалість перебудови виробничих і бізнес-процесів, яка ускладнюється відсутністю чіткого розуміння економічних ефектів на короткостроковому горизонті планування;
- відсутність загальноприйнятих стандартів використання цифрових рішень та їхня низька функціональна сумісність із наявним парком машин і обладнання;
- складність поєднання інформаційних моделей, створених кількома командами за допомогою різних програмних інструментів (що частково вирішується в рамках концепції OpenBIM, що передбачає взаємодію великих команд без прив'язки до конкретного програмного забезпечення);
- складність координації різних учасників у комплексних проєктах створення CIM, наповнення шарів даних, розвитку механізмів обміну ними (ринок даних);
- різний рівень цифрової зрілості великих будівельних компаній і малих та середніх підприємств, які є субпідрядниками.

У нашій країні в будівельному секторі переважають малі і середні компанії, локалізовані на регіональних ринках. Через відсутність інвестиційних ресурсів, кваліфікованих кадрів і прямих стимулів для цифровізації більшість з них виявляються фактично "замкненими" на низькому технологічному рівні.

Для здійснення трансформації повномасштабної цифровізації в будівництві необхідно подолати інформаційні, нормативні, кадрові та фінансові бар'єри. Для цього доцільна реалізація таких заходів, як:

- актуалізація та розроблення нових нормативно-технічних документів для впровадження цифрових технологій у будівництві та встановлення обмежень на використання застарілих;
- коригування нормативної бази у сфері містобудування, розвиток цифрових платформ і механізмів обміну даними, необхідних для забезпечення можливості створення якісних інформаційних моделей міст, ухвалення рішень у сфері містобудування та планування розвитку територій;
- формування мережі регіональних центрів навчання та консультування з питань впровадження цифрових технологій у будівництві, зокрема на базі профільних ЗВО;
- демонстраційні проекти будівництва та експлуатації житла із застосуванням цифрових технологій (BIM, роботи, "розумний дім" та ін.) з вільним доступом до техніко-економічної та іншої інформації (інформування забудовників про успішний досвід застосування цифрових технологій);
- субсидування придбання цифрових рішень малими та середніми будівельними компаніями (насамперед у регіонах);
- пільгові банківські продукти для забудовників і покупців житла із застосуванням цифрових технологій (система "Розумний будинок", зокрема датчики і сенсори для моніторингу конструкцій, управління освітленням, опаленням, вентиляцією).

Висновки

Підсумовуючи вищевикладене, можна зробити такі висновки. Цифровізація є невідворотним трендом розвитку будівельної індустрії. Впровадження цифрових технологій дозволяє істотно підвищити конкурентоспроможність та інтенсифікувати розвиток виробничого потенціалу будівельних підприємств. Існують певні бар'єри, які стримують цифрову трансформацію будівельної галузі в Україні. Для подолання цих бар'єрів та сприяння цифровізації будівництва необхідні спільні зусилля держави, бізнесу та наукової спільноти.

Важливо зазначити, що цифровізація будівельної індустрії – це не лише питання впровадження нових технологій. Це комплексна задача, яка потребує системного підходу.

Список використаних джерел

1. Akinci T., Tunalı Ö., Altınışık M. Dezeen (2019). Robot Science Museum in Seoul Will Be Built by Robots and Drones. 2019. Febr. 20. <https://www.dezeen.com/2019/02/20/robot-science-museum-melike-altinisik-architects-maa-seoul/> (дата звернення: 03.01.2024).
2. Edesess H. Archi Expo E-Mag (2020). Making a 3D-Printed House into a Home. <https://emag.archiexpo.com/making-a-3d-printed-house-into-a-home/> (дата звернення: 03.01.2024).
3. Haslehner R., Jobert F., Brunelli J., Nogara A., Rodio R., Véroux D. BCG (2018). Boosting Productivity in Construction with Digital and Lean. <https://www.bcg.com/publications/2018/boosting-productivity-construction-digital-lean> (дата звернення: 01.01.2024).
4. National Research Foundation (2021). Virtual Singapore. <https://www.nrf.gov.sg/> (дата звернення: 03.01.2024).

5. NBS (2020). UK National BIM Report 2019. <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2019> (дата звернення: 02.01.2024).
6. Winn M. Construction Executive (2021). What Automation and Robotics Will Bring to Construction. <https://constructionexec.com/article/what-automation-and-robotics-will-bring-to-construction> (дата звернення: 01.01.2024).