УДК 69.05+004.94
DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.58.1144

ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ У БУДІВЕЛЬНУ ГАЛУЗЬ

КУЛІК М. В.[1], *канд. техн. наук, доц.,*
ІВАНЕНКО Д. С.[2*], *асп.,*
БОЛЮК С. В.[3], *ст. викл.,*
ЧЕЧЕЛЬ М. В.[4], *ст. викл.,*
ГУНДРОВ Г. В.[5], *магістрант*

[1] Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (099) 088-22-83, e-mail: starwarskmv4@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4880-5217
[2*] Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (068) 528-67-86, e-mail: d.sergeevich108@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1635-1214
[3] Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (096) 559-43-33, e-mail: bolyuksv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4072-9018
[4] Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (099) 619-17-77, e-mail: chechel@zp.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9462-9560
[5] Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (098) 413-39-19, e-mail: germangundrov1@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-7187-1603

Анотація. В умовах стрімкого розвитку сучасних технологій і зростаючих вимог до підвищення ефективності, якості та безпеки будівельного виробництва, впровадження роботизації та автоматизації на будівельних майданчиках стає перспективним напрямом. Використання роботів та автоматизованих систем дозволяє здійснювати широкий спектр завдань, починаючи від підготовки основи для будівництва, виконувати монтаж конструктивних елементів, що в майбутньому відкриває нові горизонти у зведенні житлових і промислових комплексів, сприяє оптимізації виробничих процесів та значно зменшує часові витрати. Автоматизація дає змогу мінімізувати вплив людського фактору, що є однією з ключових причин помилок у будівництві [1]. Використання роботів дозволяє підвищити точність виконання завдань, передбачених планом, при цьому забезпечуючи відповідність сучасним нормативним документам. Наукова робота спрямована на аналіз основних перспектив, викликів і технологічних рішень, пов'язаних із впровадженням автоматизованих систем у будівельній галузі. Розглядаються інноваційні підходи до автоматизації, вплив новітніх технологій на виконання будівельних робіт, а також можливості використання автономних систем для зведення житлових комплексів. Запропоновані висновки демонструють, що інтеграція автоматизованих систем є не лише ефективним інструментом для оптимізації витрат часу і ресурсів, але й потужним драйвером сталого розвитку будівельної індустрії в перспективі, а впровадження автоматизованих рішень на державному рівні дозволяє не лише відповідати сучасним тенденціям, але й створювати нові стандарти ефективності, якості та безпеки в будівництві.

Ключові слова: *автоматизація будівництва; інноваційні технології; інформаційне моделювання; управління будівництвом; оптимізація процесів; безпека на будівельному майданчику*

CHALLENGES AND PROSPECTS OF IMPLEMENTING AUTOMATED SYSTEMS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

KULIK M.V.[1], *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,*
IVANENKO D.S.[2*], *PhD Stud.,*
BOLYUK S.V.[3], *Sen. Lect.,*
CHECHEL M. V.[4], *Sen. Lect.,*
HUNDROV H.V.[5], *Master*

[1] Department of Construction Production and Project Management, National University Zaporizhzhia Polytechnic, 64, Zhukovskoho Str., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (099) 088-22-83, e-mail: starwarskmv4@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4880-5217
[2*] Department of Construction Production and Project Management, National University Zaporizhzhia Polytechnic, 64, Zhukovskoho Str., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (068) 528-67-86, e-mail: d.sergeevich108@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1635-1214
[3] Department of Construction Production and Project Management, National University Zaporizhzhia Polytechnic, 64, Zhukovskoho Str., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (96) 559-43-33, e-mail: bolyuksv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4072-9018
[4] Department of Construction Production and Project Management, National University Zaporizhzhia Polytechnic, 64, Zhukovskoho Str., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (099) 619-17-77, e-mail: chechel@zp.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9462-9560
[5] Department of Construction Production and Project Management, National University Zaporizhzhia Polytechnic, 64, Zhukovskoho Str., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (098) 413-39-19, e-mail: germangundrov1@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-7187-1603

Abstract. In the context of rapid technological advancements and increasing demands for enhanced efficiency, quality, and safety in construction, the implementation of robotics and automation on construction sites has become a promising direction. The use of robots and automated systems enables a wide range of tasks, from preparing the foundation for construction to assembling structural elements, thereby opening new horizons for the development of residential and industrial complexes, optimizing production processes, and significantly reducing time costs. Automation minimizes the impact of the human factor, which is one of the key causes of errors in construction [1]. Utilizing robots enhances the accuracy of tasks outlined in the plan while ensuring compliance with modern regulatory standards. This research focuses on analyzing the key prospects, challenges, and technological solutions associated with the implementation of automated systems in the construction industry. It explores innovative approaches to automation, the impact of emerging technologies on construction activities, and the potential use of autonomous systems in the development of residential complexes. The proposed conclusions demonstrate that integrating automated systems is not only an effective tool for optimizing time and resource expenditures but also a powerful driver of sustainable development in the construction industry. Moreover, implementing automated solutions at the state level allows not only keeping up with modern trends but also establishing new standards of efficiency, quality, and safety in construction.

Keywords: *automation in construction; innovative technologies; building information modeling; construction management; process optimization; safety on construction sites*

Вступ. Будівельна галузь сьогодні є однією з найбільш динамічних та інвестиційно привабливих сфер, яка демонструє постійне зростання, особливо у контексті післявоєнної відбудови. Успішність цієї галузі значною мірою залежить від здатності адаптуватися до нових викликів, таких як складність проєктів, підвищення вимог замовників до термінів виконання і якості робіт в умовах невизначеності. У цьому контексті роботизація та автоматизація стають стратегічними напрямками для розвитку в найближчі десятиліття.

Сучасні автоматизовані системи відкривають нові можливості для оптимізації будівельних процесів [2]. Наприклад, роботи дозволяють виконувати різноманітні завдання з високою точністю, мінімізуючи вплив людського фактору та знижуючи ризик помилок. Використання роботизованих технологій дозволяє значно прискорити будівництво об’єктів, підвищити якість робіт і забезпечити стабільність навіть за умов високої складності проєктів.

Переваги автоматизації очевидні: роботизовані системи працюють майже безперервно, зберігаючи стабільну продуктивність, не потребують довгострокових перерв чи відпочинку (оформлення лікарняних, відпусток), а також можуть працювати в умовах, небезпечних для людини, що особливо важливо в умовах відбудови міст або масштабних інфраструктурних проєктів.

Автоматизація також сприяє економії ресурсів і часу в перспективі. Інтеграція новітніх технологій у будівництво дозволяє створити системи, які оптимізують витрати, забезпечують відповідність сучасним стандартам і підвищують безпеку робочих процесів. У результаті автоматизація не лише підвищує ефективність галузі, але й створює нові стандарти якості, якщо розглянути це питання на державному рівні.

Таким чином, автоматизація та роботизація будівельного виробництва

стають невід'ємною частиною майбутнього галузі.

Мета статті − аналіз перспектив і викликів, пов’язаних із впровадженням автоматизованих систем у будівельному виробництві, дослідження їх впливу на оптимізацію процесів, зниження впливу людського фактору та підвищення ефективності будівельних робіт.

Методологія дослідження базується на аналізі сучасних наукових джерел, що висвітлюють впровадження різних автоматизованих систем у будівництві, їх вплив на зниження людського фактору, підвищення ефективності, якості та безпеки будівельних процесів. Використано підхід, що поєднує теоретичний аналіз і вивчення практичних кейсів застосування інноваційних технологій і виявлення драйверів для їх інтеграції на державному рівні.

Стан проблеми та цілі дослідження. Автоматизація будівельних процесів є одним з найактуальніших напрямів розвитку сучасної будівельної галузі, оскільки вона сприяє значному підвищенню ефективності, якості та безпеки будівельних робіт. Швидке впровадження інноваційних технологій обумовлене зростаючими вимогами ринку до скорочення термінів виконання робіт, оптимізації витрат і мінімізації людського фактору, що знижує ризик помилок і травматизму. В свою чергу, роботизація будівельних процесів відкриває нові можливості для підвищення продуктивності, точності та безпеки будівельних робіт, а сучасні конструкції роботів адаптовані для виконання широкого спектра завдань у будівництві, що забезпечує ефективне виконання технологічних операцій навіть у складних умовах [3].

У цьому контексті особливу увагу привертають дослідження, які аналізують інтеграцію роботизації з інформаційним моделюванням будівель, адже ця комбінація відкриває нові горизонти для автоматизації управління проєктами, скорочення витрат і підвищення продуктивності. Таким чином, автоматизація стає не лише технологічною потребою, а й стратегічним інструментом для забезпечення сталого розвитку будівельної галузі.

Наукова література свідчить про активний розвиток автоматизації та роботизації в будівельній галузі. Зокрема, у дослідженні Taghaddos H., Mashayekhi A. та Sherafat B. розглядається вплив впровадження автоматизованих систем на виконання кількісного аналізу обсягів будівництва. Автори відзначають, що використання інформаційного моделювання будівель значно спрощує планування, скорочує час виконання завдань та мінімізує ризики людських помилок. Такі системи надають можливість здійснювати детальні розрахунки ресурсів та створювати цифрові моделі будівель із високою точністю [4].

Lin Y.-W., Tang T. L. E., Sangiovanni-Vincentelli A., Schiavon S., та Spanos C. J. у своїй роботі зосередили увагу на інтеграції електронного проектування та будівельного моделювання. Автори підкреслюють, що поєднання інноваційних підходів до проектування із BIM-технологіями сприяє зменшенню витрат, підвищенню продуктивності та покращенню якості реалізації будівельних проектів. Вони акцентують увагу на необхідності цифрової трансформації як ключового фактору для адаптації будівельної галузі до сучасних вимог [5].

Дослідження Броннікова А. І., Коломійця А. І. та Юрченка О. І. присвячене розробці систем автоматизації, орієнтованих на контроль та моніторинг роботи промислових приміщень. Впроваджені системи дозволяють знизити залежність від людського впливу та фактору, підвищити точність виконання завдань та забезпечити контроль якості на кожному етапі виробничого процесу, що сприятиме вдосконаленню управління ресурсами та підвищенню загальної ефективності виробництва [6].

Науковці Іваненко Д. С., Кулік М. В., Бобраков А. А. у своїй роботі [7] зазначають, що використання BIM-технологій як основи для управління будівельними проєктами забезпечує ефективну координацію між учасниками

процесу, значно скорочує час виконання завдань та оптимізує розподіл ресурсів, отже ці аспекти мають ключове значення у впровадженні інноваційних технологій автоматизації будівельного виробництва.

Попри значний потенціал, впровадження роботизованих систем потребує високих інвестицій та адаптації сучасної нормативно-правової бази. Для української будівельної галузі ключовими бар'єрами є висока вартість обладнання та брак фахівців, які здатні працювати з такими системами. Утім, адаптація BIM-технологій та роботизованих систем може стати вирішальним кроком для досягнення конкурентоспроможності на міжнародному ринку, особливо у контексті відбудови міст.

Розглядаючи застосування робототехніки у будівельній галузі, варто врахувати досвід впровадження роботизованих систем у промисловості зарубіжних країн. Дослідження Skibniewski, Golparvar-Fard і Bock [8] вказують на те, що робототехніка зосереджена в окремих регіональних хабах, створюючи значну нерівномірність у розподілі доступу до технологій. Такий підхід може обмежувати потенціал інноваційного розвитку в менш забезпечених районах, а для вирішення цієї проблеми важливо розробляти інтеграційні стратегії, які сприятимуть поширенню автоматизації на національному рівні, підвищуючи ефективність і якість будівельних процесів незалежно від їхнього географічного розташування.

Аналіз літературних джерел показує, що впровадження сучасних систем автоматизації у будівельну галузь має значний потенціал для підвищення ефективності, продуктивності та якості будівельних процесів. Автоматизація значно зменшує ризик помилок і підвищує рівень безпеки на будівельних об'єктах, мінімізуючи залежність від людського втручання. Разом із цим, сучасні дослідження наголошують на важливості модернізації освітніх програм для підготовки спеціалістів, здатних ефективно інтегрувати та використовувати робототехнічні системи у будівельних процесах, що підкреслює актуальність зазначеної тематики.

Виклад основного матеріалу. Значний внесок у розвиток автоматизації будівельного виробництва здійснили компанії Японії, Австралії та США, які не лише впроваджують роботизовані системи у будівельні процеси, але й створюють нові стандарти організації робіт, що базуються на передових технологіях та інноваційних підходах.

Японська компанія Kashima вирізняється своїм інтегрованим підходом до вирішення таких ключових викликів галузі, як дефіцит кваліфікованої робочої сили, складність будівельних умов і низький рівень продуктивності праці, що традиційно притаманний будівельному сектору. У рамках своєї стратегії компанія розробляє робототехнічні рішення, які базуються на інформаційних та комунікаційних технологіях, спрямованих на цифровізацію усіх етапів будівельного циклу, включаючи проектування, моніторинг та виконання будівельних робіт. Компанія розробила систему автоматизованого будівництва A4CSEL, яка дозволяє керувати декількома автоматизованими будівельними машинами з мінімальною участю працівників, перетворюючи будівельний майданчик на фабрику [9].

Kashima активно працює над створенням інструментів для віддаленого управління будівельними проектами, що передбачає повну інтеграцію цифрових технологій з автоматизованими системами управління, які дозволяють у реальному часі контролювати хід виконання робіт, виявляти потенційні проблеми та коригувати їх без затримок.

Згідно з останнім оглядом «Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies» за 2023 рік, кілька ключових технологічних інновацій, таких як штучний інтелект (AI), блокчейн, роботизація та автоматизація, набирають обертів, змінюючи підходи до виконання будівельних робіт і сприяючи оптимізації виробничих процесів. Відображено етапи розвитку технологій, від їх появи до стабільного впровадження в реальні умови

(рис. 1). Особливу увагу приділено технологіям, які мають потенціал для трансформації традиційних будівельних процесів і підвищення їх ефективності [10].

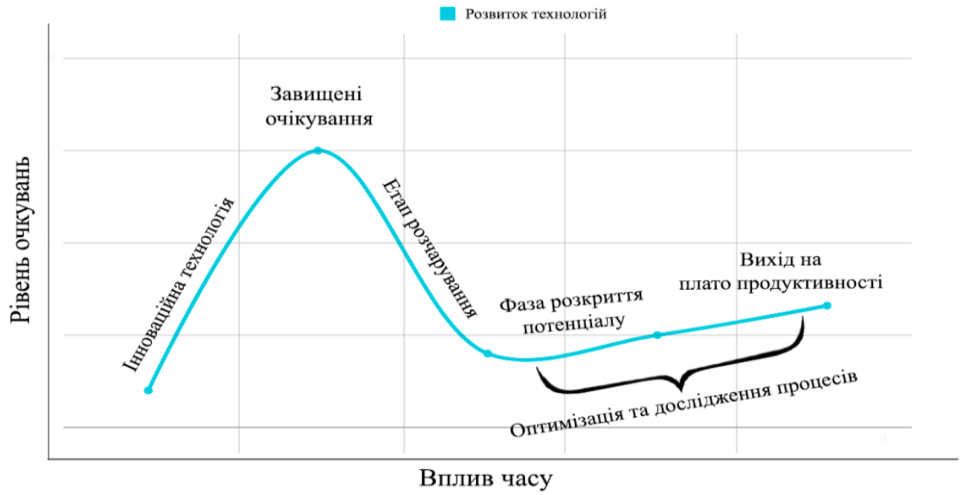

Рис. 1. Представлена крива популярності технологій

Австралійська компанія Fastbrick Robotics, у свою чергу, орієнтується на автоматизацію процесів у малоповерховому будівництві, використовуючи роботів для автоматизованого укладання цегли, а сама технологія забезпечує значне скорочення часу будівництва, що, у поєднанні з високою точністю виконання робіт, стає ключовим фактором її конкурентоспроможності [11].

Впровадження автоматизованих систем у будівництві значно змінює підхід до виконання проєктів, забезпечуючи підвищення швидкості реалізації завдань та точності їх виконання, при цьому зазначені трансформації стають можливими завдяки синхронізації робототехнічних рішень з технологіями інформаційного моделювання будівель, що створює унікальні можливості для ефективного планування та управління будівельними процесами.

Автоматизовані системи впливають на швидкість виконання проєктів через оптимізацію технологічних операцій і усунення простоїв. Використання роботів для монтажу конструктивних елементів чи виконання оздоблювальних робіт дозволяє значно скоротити часові витрати, оскільки роботи виконують завдання безперервно, із постійною продуктивністю. Це, у свою чергу, мінімізує вплив людського фактору, який часто є причиною затримок через потребу у відпочинку чи обмеження фізичних можливостей працівників.

Сучасні автоматизовані системи виконують широкий спектр завдань: від підготовки основи для будівництва до монтажу конструктивних елементів та оздоблювальних робіт. Вони базуються на використанні робототехніки, програмного забезпечення для управління будівельними процесами та сенсорних технологій, які забезпечують високу точність виконання операцій. Наприклад, роботи, оснащені системами машинного зору, можуть здійснювати точне позиціонування елементів на основі даних з BIM-моделі, що мінімізує ймовірність помилок і прискорює процес монтажу.

Одним із найбільш суттєвих обмежень для впровадження автоматизованих систем в будівельну галузь України виступають значні початкові капіталовкладення, необхідні для придбання обладнання, розробки програмного забезпечення та створення інфраструктури. Створюється фінансовий бар'єр, котрий поглиблюється недостатнім рівнем інвестицій у дослідження та розробки.

Недостатня кількість кваліфікованих фахівців, здатних працювати з сучасними технологіями, формує ще одну суттєву перешкоду, яка загострюється через нерозвинену систему професійної

підготовки та брак належного кадрового потенціалу. Фрагментована структура будівельної галузі, де координація між учасниками процесу залишається на низькому рівні, додатково гальмує інтеграцію автоматизованих систем, створюючи прогалини у спільному використанні інновацій. Зазначений аспект можливо вирішити шляхом впровадження в освітні програми закладів вищої освіти відповідних освітніх компонентів при взаємодії з роботодавцями.

Технологічна незрілість деяких рішень, включаючи недостатню функціональну інтеграцію, обмеження алгоритмічної ефективності та труднощі роботи в неконтрольованих середовищах, значно знижує довіру до таких систем, особливо серед підприємств, що прагнуть мінімізувати ризики.

Водночас кожна із цих перешкод може бути подолана завдяки впровадженню державних стимулів, створенню кластерів для координації, збільшенню фінансування інновацій, розвитку освітніх програм і технологічному вдосконаленню, а викладені рішення (табл.) окреслюють реалістичні часові рамки для подолання цих викликів, формуючи стратегічний план дій для ефективної трансформації будівельної галузі.

Таблиця

Проблеми, сутність та рішення для інтеграції автоматизованих систем

Проблема	Суть	Можливе рішення	Ймовірні строки
Високі початкові капіталовкладення	Значні витрати на придбання обладнання, програмного забезпечення та інфраструктури	Державні субсидії, програми співфінансування та пільгове кредитування для бізнесу	3−5 років за умови наявності державної підтримки
Фрагментована структура будівельної галузі	Відсутність належної координації між учасниками будівельного процесу	Створення галузевих кластерів для об'єднання ресурсів та координації дій	2−3 роки для створення початкових кластерів
Низькі інвестиції в наукові дослідження	Недостатнє фінансування інноваційних проєктів у будівництві	Збільшення державних та приватних інвестицій у дослідження й розробки	5−7 років для досягнення фінансування
Недостатня підготовка кваліфікованих кадрів	Брак фахівців, здатних працювати з автоматизованими системами	Розробка спеціалізованих навчальних програм та співпраця з університетами	3−5 років для впровадження навчальних програм
Недосконалість технологій	Технології знаходяться на стадії тестування або мають обмежену функціональність	Інвестування в доопрацювання технологій і тестування в реальних умовах	4−6 років для технологічного розвитку

Проаналізувавши наведені виклики та ключові бар’єри впровадження автоматизованих систем у будівництві, була розроблена багаторівнева модель інтеграції (рис. 2), котра забезпечує взаємодію економічного, організаційного, технологічного, кадрового та нормативно-правового рівнів, формуючи єдину платформу для впровадження інноваційних рішень. У центрі моделі — інтеграція автоматизованих систем і BIM, яка об’єднує всі рівні. Від кожного рівня йде взаємозв’язок із центральною платформою, що забезпечує двосторонню взаємодію між рівнями.

Впровадження розробленої моделі спрямоване на оптимізацію будівельних процесів через зменшення впливу людського фактору, підвищення точності та прискорення виконання завдань, що стає можливим завдяки синхронізації дій на зазначених рівнях, а також забезпечує системність та адаптивність запропонованих рішень до умов українського будівельного ринку, враховуючи сучасні виклики, пов’язані з післявоєнною відбудовою та зростаючими вимогами до ефективності, якості та безпеки.

Серед перешкод слід відзначити потребу у значних фінансових ресурсах для

створення відповідної інфраструктури, координацію учасників процесу на міжрівневому рівні та доопрацювання окремих технологічних рішень [12].

Рис. 2. Модель подолання зазначених викликів та цифровізація будівельної галузі

Адаптація існуючих організаційних структур до впровадження сучасних технологій вимагає не лише часу, але й глибоких трансформацій у внутрішніх процесах, що нерідко викликає супротив серед працівників і менеджменту. Невирішеним питанням залишається також створення оновленої нормативно-правової бази, яка б не лише регулювала застосування штучного інтелекту у будівництві, але й забезпечувала відповідність таких технологій сучасним стандартам якості та безпеки. Наведені аспекти мають бути вирішень для розробки стратегій інтеграції автоматизованих рішень, оскільки вони впливають на можливість оптимізації ресурсів, підвищення продуктивності та створення умов для сталого розвитку галузі [13].

Висновки

Проведений аналіз демонструє, що автоматизація у будівельній галузі є не лише інструментами для підвищення продуктивності, але й ключовими елементами формування нових стандартів якості, безпеки та ефективності.

На тлі глобальних технологічних тенденцій, Україна має значні можливості для адаптації новітніх технологій у будівельній сфері. Проте для цього необхідно створити умови для розвитку інфраструктури, сприятливого законодавчого середовища та надання підтримки дослідженням у цій галузі. Важливим є забезпечення навчання і підвищення кваліфікації фахівців, які будуть здатні ефективно працювати з новими технологіями, такими як штучний інтелект і робототехніка.

Разом із тим, успішне впровадження таких технологій передбачає необхідність вирішення низки суттєвих викликів, серед яких особливе значення має нерівномірний доступ до автоматизованих систем, що спостерігається у різних країнах і обмежує можливості їх ефективного використання, а також дефіцит кваліфікованих кадрів.

У цьому контексті дослідження важливу роль відіграє адаптація навчальних програм в закладах вищої освіти, які повинні враховувати потреби сучасного будівництва, інтеграція інформаційного моделювання будівель, що дозволить підвищити кількість кваліфікованих фахівців галузі в умовах глобалізації [14].

Розроблена багаторівнева модель інтеграції автоматизованих систем у будівельне виробництво покликана створити основу для подолання ключових викликів галузі шляхом, пропонуючи комплексний підхід до оптимізації використання ресурсів, мінімізації впливу людського фактору та впровадження інноваційних технологій. У перспективі модель має стати важливим інструментом для реалізації інтеграції автоматизованих систем до будівельних компаній України.

В свою чергу, міжнародний досвід доводить, що впровадження сучасних систем автоматизації у будівельну галузь дозволяє не лише подолати існуючі виклики, пов'язані з нестачею робочої сили та складністю виконання будівельних завдань, але й створити передумови для подальшого напряму розвитку галузі.

Тема автоматизації та інтеграції сучасних технологій у будівельну галузь, є надзвичайно перспективною, але водночас потребує поглибленого наукового осмислення, яке має включати як фундаментальні дослідження, так і практичну апробацію запропонованих рішень у реальних умовах. Особливої уваги заслуговує розробка методологічних підходів до оцінки ефективності впроваджених інновацій, аналіз їхнього довгострокового впливу на продуктивність галузі, а також вивчення адаптаційних механізмів для інтеграції автоматизованих систем. Подальший розвиток цієї тематики стане вагомим внеском у формування нових стандартів ефективності та забезпечить розвиток будівельної індустрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов Ю. В., Вергал К. Ю., Дзеверіна К. С. Впровадження автоматизації та елементів інформаційної логістики в будівельній галузі. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія : Економіка і управління*. 2024. Т. 35, № 3. С. 8–13.
2. Семененко Ю. С. Оптимізація діяльності будівельної компанії з допомогою IT технологій. *Економічний аналіз*. 2024. Т. 34, № 2. С. 250–258.
3. Міщук Д. О. Огляд та аналіз конструкцій роботів для будівельних робіт. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2013. Вип. 82. С. 28–37. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gbdmm_2013_82_7 (дата звернення : 18.12.2024).
4. Taghaddos H., Mashayekhi A., Sherafat B. Automation of Construction Quantity Take-Off. *Using Building Information Modeling (BIM)*. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1906.02400.
5. Lin Y.-W., Tang T. L. E., Sangiovanni-Vincentelli A., Spanos C. J. From Electronic Design Automation to Building Design Automation. *Challenges and Opportunities*. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2305.06380.
6. Бронніков А. І., Коломієць А. І., Юрченко О. Д. Система автоматизації для моніторингу роботи приладобудівного приміщення. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2024. № 4 (30). С. 19–30.
7. Іваненко Д. С., Кулік М. В., Бобраков А. А., Москальова А. В. BIM як база для механізму управління будівельними проектами. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2022. № 42. DOI: 10.31713/budres.v0i42.020.
8. Skibniewski M., Golparvar-Fard M., Bock T. Robot Hubs : The Skewed Distribution of Robots in US Manufacturing. *AEA Papers and Proceedings*. May 2023. Vol. 12, iss. 3. Pp. 215–218.
9. Kajima Corporation. A4CSEL : Automated Construction System for Civil Engineering and Large-scale Construction. URL: https://www.kajima.co.jp/english/tech/c_a4csel/engineering/index.html. (дата звернення : 15.12.2024).
10. Gartner. What's New in the 2023 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies. URL : https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2023-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies (дата звернення : 22.12.2024).
11. FBR Ltd. Hadrian X. URL: https://www.fbr.com.au/view/hadrian-x? (дата звернення : 29.12.2024).
12. Ічетовкін А. О. Аналіз механізму вибору організаційно-технологічних рішень інтегрованого управління будівельними процесами. *Наука та прогрес транспорту*. 2023. № 4 (104). С. 39–47. URL: https://doi.org/10.15802/stp2023/297519

13. Доненко В. І., Бобраков А. А., Іваненко Д. С. Удосконалення ресурсозабезпечення при відновленні будівель з використанням Artificial Intelligence. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2023. № 1 (52). С. 62–72. URL: http://ways.knuba.edu.ua/article/view/297637

14. Петренко О. В., Коваленко Л. С. Роль технологій будівельного інформаційного моделювання в адаптації сучасних навчальних програм для будівельної галузі. *Вісник Львівської політехніки. Серія : Архітектура*. 2024. № 6 (2). С. 45–52. URL: https://doi.org/10.23939/sa2024.02.087

REFERENCES

1. Ivanov Yu.V., Vergal K.Yu. and Dzeverina K.S. *Vprovadzhennya avtomatyzatsiyi ta elementiv informatsiynoyi lohistyky v budivel'niy haluzi* [Implementation of automation and elements of information logistics in the construction industry]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernads'koho. Seriya : Ekonomika i upravlinnya* [Scientific Notes of TNU named after V.I. Vernadsky. Series : Economics and Management]. 2024, vol. 35, no. 3, pp. 8–13. (in Ukrainian).

2. Semenenko Yu.S. *Optymizatsiya diyal'nosti budivel'noyi kompaniyi z dopomohoyu IT tekhnolohiy* [Optimization of construction company activities using IT technologies]. *Ekonomichnyy analiz* [Economic Analysis]. 2024, vol. 34, no. 2, pp. 250–258. (in Ukrainian).

3. Mishchuk D.O. *Ohlyad ta analiz konstruktsiy robotiv dlya budivel'nykh robit* [Review and analysis of robot designs for construction works]. *Hirnychi, budivel'ni, dorozhni ta melioratyvni mashyny* [Mining, Construction, Road, and Reclamation Machines]. 2013, no. 82, pp. 28–37. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gbdmm_2013_82_7 (access date: 18.12.2024). (in Ukrainian).

4. Taghaddos H., Mashayekhi A. and Sherafat B. Automation of Construction Quantity Take-Off : Using Building Information Modeling (BIM). 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1906.02400.

5. Lin Y.-W., Tang T.L.E., Sangiovanni-Vincentelli A. and Spanos C.J. From Electronic Design Automation to Building Design Automation : Challenges and Opportunities. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2305.06380.

6. Bronnikov A.I., Kolomiyets A.I. and Yurchenko O.D. *Systema avtomatyzatsiyi dlya monitorynhu roboty pryladobudivnoho prymishchennya* [Automation system for monitoring the operation of an instrument-making facility]. *Suchasnyy stan naukovykh doslidzhen' ta tekhnolohiy v promyslovosti* [Modern State of Scientific Research and Technologies in Industry]. 2024, no. 4 (30), pp. 19–30. (in Ukrainian).

7. Ivanenko D.S., Kulik M.V., Bobrakov A.A. and Moskalova A.V. *BIM yak baza dlya mekhanizmu upravlinnya budivel'nymy proyektamy* [BIM as a basis for the mechanism of construction project management]. *Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy* [Resource-Efficient Materials, Structures, Buildings, and Facilities]. 2022, no. 42. DOI: 10.31713/budres.v0i42.020. (in Ukrainian).

8. Skibniewski M., Golparvar-Fard M. and Bock T. Robot Hubs : The Skewed Distribution of Robots in US Manufacturing. AEA Papers and Proceedings. May 2023, vol. 12, iss. 3, pp. 215–218.

9. Kajima Corporation. A4CSEL : Automated Construction System for Civil Engineering and Large-scale Construction. URL: https://www.kajima.co.jp/english/tech/c_a4csel/engineering/index.html (access date : 15.12.2024).

10. Gartner. What's New in the 2023 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies. URL: https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2023-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies (access date : 22.12.2024).

11. FBR Ltd. Hadrian X. URL: https://www.fbr.com.au/view/hadrian-x (access date : 29.12.2024).

12. Ichetovkin A.O. *Analiz mekhanizmu vyboru orhanizatsiyno-tekhnolohichnykh rishen' intehrovanoho upravlinnya budivel'nymy protsesamy* [Analysis of the mechanism for selecting organizational and technological solutions for integrated management of construction processes]. *Nauka ta prohres transportu* [Science and Transport Progress]. 2023, no. 4 (104), pp. 39–47. URL: https://doi.org/10.15802/stp2023/297519 (in Ukrainian).

13. Donenko V.I., Bobrakov A.A. and Ivanenko D.S. *Udoskonalennya resursozabezpechennya pry vidnovlenni budivel' z vykorystannyam Artificial Intelligence* [Improvement of resource provision in building reconstruction using Artificial Intelligence]. *Shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti budivnytstva* [Ways to Improve Construction Efficiency]. 2023, no. 1 (52), pp. 62–72. URL: http://ways.knuba.edu.ua/article/view/297637 (access date : 18.12.2024). (in Ukrainian).

14. Petrenko O.V. and Kovalenko L.S. *Rol' tekhnolohiy budivel'noho informatsiynoho modelyuvannya v adaptatsiyi suchasnykh navchal'nykh prohram dlya budivel'noyi haluzi* [The role of building information modeling technologies in the adaptation of modern educational programs for the construction industry]. *Visnyk L'vivs'koyi politekhniky. Seriya : Arkhitektura* [Bulletin of Lviv Polytechnic. Series : Architecture]. 2024, no. 6 (2), pp. 45–52. URL: https://doi.org/10.23939/sa2024.02.087 (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 21.02.2025.