

УДК 69.003.13

В.М. Лич,

докт. екон. наук, професор
ORCID: 0000-0001-9024-1593

А.Г. Газукін,

аспірант
ORCID: 0000-0003-2856-5815

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ В РОЗВИНУТИХ КРАЇНАХ

Стаття присвячена питанню аналізу сучасних трендів інноваційної діяльності в будівельній галузі розвинених країн світу та визначення шляхів адаптації кращих практик для підвищення конкурентоспроможності українських будівельних підприємств.

Характеризуючи будівництво як одну з найважливіших галузей економіки, автори зазначають, що будівельний сектор негативно впливає на екологічний стан довкілля через значні обсяги відходів, викиди забруднюючих речовин та руйнуванні екосистем. Обґрунтовано, що інноваційний розвиток стає ключовим для підвищення еколого-економічної ефективності будівельних підприємств, забезпечення сталого розвитку країни. Визначено ключові фактори, що формують сучасні тенденції у будівництві за кордоном: зростання уваги до сталого розвитку та екологічної відповідальності, ратифікація міжнародних стандартів, зміни в споживчих перевагах, необхідність залучення інвестицій, високий рівень конкуренції, діджиталізація адміністрування. У статті акцентується увага на необхідності впровадження новітніх технологій, таких як інформаційне моделювання будівель (BIM), автоматизація, роботизація та використання 3D-друку. Розглядаються переваги інтеграції «зелених» стандартів, зокрема LEED, BREEAM і Green Star, які сприяють зниженню негативного екологічного впливу будівельної галузі. Також аналізуються глобальні тренди, серед яких визначальними є екологічна відповідальність, діджиталізація, використання енергоефективних і біосферосумісних технологій, екологічне будівництво. На основі міжнародного досвіду країн, таких як США, Німеччина, Велика Британія, Японія, Південна Корея та Австралія, висвітлено ефективні підходи до інноваційного розвитку будівельної галузі. Пріоритетами інноваційної діяльності в США є цифровізація та розвиток «розумних міст», в країнах Європи – підвищення рівня екологічності та енергоефективності, в Японії – роботизація, автоматизація та сейсмостійкі технології.

Використання зарубіжного досвіду інноваційної діяльності в будівельному секторі сприятиме підвищенню конкурентоспроможності

українських будівельних підприємств, глобальній екологічній та економічній стійкості.

Ключові слова: *інноваційна діяльність, зарубіжний досвід, інноваційний розвиток, будівельні підприємства, інновації, стале будівництво, цифровізація, інформаційне моделювання будівель, модульне будівництво, зелене будівництво, біосферосумісні технології, екосвідоме будівництво.*

Актуальність теми дослідження. В теперішній час будівельна галузь зазнає значних трансформацій під впливом науково-технічного прогресу. Використання нових будівельних матеріалів, технологій, цифрових інструментів, нових методів ведення робіт, запровадження принципів сталого розвитку, біосферосумісного будівництва є ключовими трендами інноваційного розвитку. Розвинені країни демонструють лідерство у впровадженні новітніх технологій та практик, надаючи цінний досвід, який може слугувати орієнтиром для розвитку будівельних підприємств по всьому світу.

Постановка проблеми. Незважаючи на значний інноваційний прогрес у світовій будівельній галузі, українські будівельні підприємства відстають у впровадженні передових технологій, переважно віддають перевагу традиційним методам виконання робіт. Серед причини такого стану можна виділити достатньо жорстке регулювання будівельної галузі, яке часто стримує впровадження нових рішень, недостатнє розуміння процедури та відсутність ефективних стимулів для впровадження інновацій. Подальше дослідження зарубіжного досвіду інноваційної діяльності в будівництві необхідне для виявлення ефективних напрямів інноватизації, які можуть бути адаптовані до українських умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень показує, що інноваційний розвиток будівельної галузі є предметом уваги як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. Значна кількість науковців досліджували стан та тенденції інноваційної діяльності за кордоном, більшість з них розглядали досвід окремої країни в аспекті вирішення певних проблем. Так, Берлак Дж., Гафнер С., Куппельвізер В.Г. досліджували вплив діджиталізації на продуктивність будівельної галузі Німеччини [1]; Нагатані К., Абе М., Осука К., Чун П.Дж., Окатані Т., Нісіо М., Асама Х. - питання роботизації в процесі будівництва інфраструктури [2]. Меріно М.Р., Грасія П.І., Азеведо І.С.В. присвятили свої праці сталому будівництву в аспекті повторного використання будівельних відходів [3], а Моссін Н., Стіллінг С., Бойструп Т.С., Хау І.С., Стіенсен К., Блегвад А. опікувались питаннями реалізації в архітектурних проєктах принципів сталого розвитку [4], тощо. Також вчені концентрувались на певному типі інновацій: Істмен Ч., Тейлор П., Сакс Р., Лістон К. – на застосуванні ВІМ-технологій [5], Ньюшам Г.Р., Манчіні С., Бьорт Б.Дж [6], та Шибані А., Ага А., Гассан Д., Наомі Ф. [7] – на LEED та BREEAM сертифікації будівель, Ель-Саег С., Ромдан Л., Манджікян С.

– використанні новітніх матеріалів і технологій [8]. З метою ідентифікації найбільш ефективних практик доцільно провести дослідження досвіду країн, що обрали різні шляхи інноваційного розвитку в будівництві, та визначити ті з них, які можуть бути адаптовані до українських умов.

Метою дослідження є аналіз сучасних трендів інноваційної діяльності в будівельній галузі розвинених країн світу та визначити шляхи адаптації кращих практик для підвищення конкурентоспроможності українських будівельних підприємств.

Виклад основного матеріалу. Сучасне будівництво є одним з ключових секторів економіки, що впливає на рівень життя населення, енергоефективність та екологічний стан довкілля. Тому розробка ефективних стратегій інноваційного розвитку будівельної галузі є одним з пріоритетних завдань для держави. Інновації не просто дозволяють підприємствам отримувати конкурентні переваги, але й беруть участь у формуванні економічного ландшафту майбутнього, особливо це стосується будівельної галузі. Остання не лише робить значний внесок у валовий внутрішній продукт, але й відіграє вирішальну роль у розвитку інфраструктури, житла та комерційних площ. Водночас, незважаючи на те, що будівельна галузь зазвичай демонструє певну інертність у впровадженні інновацій, сучасні глобальні тренди зумовлюють необхідність її інноваційного розвитку, відкриваючи нові можливості для підвищення економічної, еколого- та енергоефективності, та, відповідно, конкурентоспроможності.

Аналіз сучасних тенденцій у будівельній галузі розвинених країн дозволив виділити низку чинників, які виступають потужними стимулами для впровадження інновацій:

- в першу чергу це пов'язано з безпосередньою користю для самих будівельних підприємств, підвищенням їх продуктивності, еколого-соціально-економічної ефективності, якості виконання робіт, ін. [1, 4];

- зростання глобальної уваги до питань сталого розвитку та екологічної відповідальності, що спонукає будівельні підприємства впроваджувати екологічно нейтральні й енергоефективні технології для зниження вуглецевого сліду будівельної галузі та адаптації до зміни клімату [6, 7, 9];

- ратифікація міжнародних стандартів у сфері сталого будівництва [4, 10];

- динамічні зміни в споживчих перевагах, що характеризуються зростанням індивідуалізації потреб, прагненням до автономності (посиленим пандемією COVID-19) та підвищеними вимогами до безпеки (в умовах повномасштабного вторгнення росії в Україну), стимулюють розвиток гнучких і адаптивних проектно-будівельних рішень [5, 8, 11], поширення використання SMART-технологій [12]. Ці фактори сприяють формуванню попиту на об'єкти з максимальною функціональністю та здатністю до реновації, що, в свою чергу, вимагає розробки нових інноваційних технологій та матеріалів;

- необхідність залучення капіталу інвесторів для підтримки фінансової стійкості та запланованих обсягів будівельно-монтажних робіт вимагає впровадження інноваційних фінансових моделей [13], використання різних форм власності на об'єкти нерухомості, сучасних моделей управління життєвим циклом проєктів [5]. Окрім того, для зростання зацікавленості інвесторів будівельні організації мають постійно демонструвати інноваційність, ефективність та надійність [2, 4];

- високий рівень конкуренції серед забудовників спонукає бути в тренді сучасних новацій, щоб пропонувати клієнтам необхідні типові чи унікальні продукти та послуги [5, 8, 12, 14];

- діджиталізація у сфері державного та галузевого адміністрування діяльності будівельних підприємств та активне впровадження цифрових технологій вимагають нових методів комунікацій з дозвоільними та контролюючими інституціями [5, 14];

- інтеграція цифрових технологій, таких як інформаційне моделювання будівель (BIM), штучний інтелект та інтернет речей (IoT), дозволяють оптимізувати будівельні процеси, підвищити операційну точність, знизити витрати та підвищувати економічну ефективність у стратегічному аспекті [15].

Окрім того вітчизняні підприємства відчують брак кваліфікованих кадрів через мобілізацію, зовнішню та внутрішню міграції через війну росії проти України. Недостатність людського капіталу та, як наслідок, зростання вартості робочої сили, будівельні підприємства намагаються компенсувати впровадженням елементів механізації, автоматизації та роботизації, що дозволяє частково знизити залежність від ручної праці [14].

Деталізуючи окремі вищезазначені фактори інновативності, доцільно охарактеризувати досвід конкретних країн у відповідних напрямках.

Так, глобальна увага до питань сталого розвитку та екологічної відповідальності зростає в контексті глобальної екологічної, безпекової криз.

Політичні потрясіння, військові дії та екологічні катастрофи завжди становили серйозну загрозу для розвитку цивілізацій. У XXI столітті, з огляду на глобалізацію та взаємозалежність держав, ці загрози стали ще більш актуальними. Тому досягнення цілей сталого розвитку є одним з найважливіших завдань сучасності. Реагуючи на глобальні загрози, держави світу, в першу чергу країни-члени ООН, об'єдналися навколо парадигми сталого розвитку як скоординованої глобальної стратегії виживання людства, яка набула активного розвитку після опублікування доповіді Комісії з економічного розвитку ООН «Наше спільне майбутнє» в 1987 р. [16, с.5-9].

Будівництво, як одна з найважливіших галузей економіки, може як сприяти сталому розвитку, так і загрожувати йому. З одного боку, будівництво необхідне для забезпечення житлом, інфраструктурою та створення нових робочих місць. З іншого боку, будівельна галузь є одним з найбільших споживачів природних ресурсів і джерелом значного

забруднення довкілля. Виробництво цементу, видобуток піску, гравію, ін. природної сировини, а також утилізація будівельних відходів призводять до викидів шкідливих речовин в атмосферу, забруднення водних ресурсів і руйнування екосистем. Так, будівельні відходи становлять понад третину промислових відходів, а їх переробка поки що недостатньо розвинена, тому більшість з них залишається на сміттєзвалищах. Забудова зелених зон, які виконують важливі функції екологічного очищення, регулювання температури та збереження вологи, призводить до руйнування природних екосистем та погіршення здоров'я людей. Зведення нових будівель та інфраструктури викликає порушення природних ландшафтів, знищення рослинності та середовищ існування для тварин, що завдає шкоди біорізноманіттю та екологічній рівновазі [11, с.25]. Для досягнення сталого розвитку в будівельній галузі необхідно впроваджувати нові технології, використовувати екологічно чисті матеріали та відходи, а також оптимізувати будівельні процеси. Тільки таким чином можливо забезпечити гармонійне співіснування людини і природи [4, с.188].

Ратифікація Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату [10], підписання Указу Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року»[17] є нормативними підставами для введення нових стандартів у сфері будівництва, митних тарифів, які передбачають дотримання екологічних, енергетичних та безпекових норм.

Зазначені нормативні акти створюють міцний фундамент для трансформації будівельної галузі. Вони надають чіткі орієнтири для архітекторів, інженерів-будівельників, стимулюючи їх до впровадження інноваційних рішень. Саме тому сучасні підходи в будівництві та архітектурі дедалі більше орієнтовані на екологічні принципи, використання відновлюваних джерел енергії та енергоефективних технологій. Це дозволяє не лише зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, але й створити комфортні та здорові умови для життя людей. Як зазначається в «Посібнику з архітектури до 17 цілей сталого розвитку ООН», використання відновлюваних джерел енергії, енергоефективних технологій та екологічно чистих матеріалів має стати стандартними сучасними практиками [4, с.153]. Відповідно будівельні підприємства реагують на ці рекомендації і намагаються впроваджувати інноваційні екологічно чисті «біосферосумісні» технології, перероблені («рециклінгові») будівельні матеріали, відновлювані ресурси, енергоефективні технології.

Екосвідоме будівництво стає невіддільною частиною сучасного підходу до розвитку будівельної галузі в розвинених країнах (рис. 1). Втім кожна країна робить акцент на певний вид інновацій у будівельній галузі залежно від своїх національних пріоритетів, ресурсів та потреб .

В умовах відмови від викопних видів палива важливим є перехід на використання відновлюваних джерел енергії. У багатьох країнах

запроваджуються будівельні проекти, які інтегрують сонячні панелі, геотермальне опалення чи вітрогенератори в дизайн будівель [21, 14].



Рис. 1. Інноваційні напрями екосвідомого будівництва

Джерело: розроблено автором на основі [4, 5, 11, 12, 14, 18-20]

Так, в Німеччині діє програма «Енергетичний поворот» (*Energiewende*), яка стимулює перехід до відновлюваної енергії в

будівництві [22]. Багато житлових і комерційних об'єктів оснащуються даховими сонячними батареями, що дозволяє будівлям генерувати більше енергії, ніж вони споживають, продавати її. У штаті Каліфорнія США з 2020 року діє закон, що вимагає встановлення сонячних панелей на всіх нових житлових будівлях [23, с.152].

Використання перероблених матеріалів та рециклінг дозволяє використати в якості будівельних матеріалів відходи нафтопереробного, гірничорудного виробництва, шлаків. Одним із ключових напрямів інновацій є використання біорозкладних матеріалів, які виготовляються на основі натуральних компонентів, таких як вапно, промислові коноплі, ін. Наприклад, у США активно розробляють екологічні фарби, утеплювачі, клеї та герметики, що відповідають суворим екологічним стандартам. Ці матеріали не лише безпечні для природи, але й демонструють високі технічні показники [24, с.253]. В Амстердамі (Нідерланди) будівельні відходи, такі як бетон чи сталь, переробляються й використовуються повторно для зведення нових об'єктів [3]. В Японії впроваджуються технології переробки деревини зі старих будівель для створення нових конструкцій [25]. Наприклад, дерев'яні каркаси старих будівель перетворюють на сучасні меблі чи фасадні елементи.

Скорочення споживання питної води та використання альтернативних джерел стало популярним у країнах із дефіцитом води. Так, у Сінгапурі багатоповерхові будівлі оснащуються системами збирання, очищення та повторного використання дощової води для технічних потреб і поливу зелених насаджень [18]. В Ізраїлі, крім збору дощової води, активно застосовуються інноваційні системи очищення стічних вод, які повторно використовуються для зрошення [19].

«Зелені» покрівлі та фасади сприяють не лише збереженню енергії, а й покращенню якості повітря у містах. Так, у Франції закон зобов'язує всі нові комерційні будівлі мати або зелений дах, або сонячні панелі. Париж активно використовує вертикальні сади, щоб зменшити ефект теплового острова в мегаполісі. У Торонто (Канада) зелений дах є обов'язковим для нових багатоповерхових будівель, що дозволяє знизити потребу в кондиціонуванні влітку та підвищити теплоізоляцію взимку [20].

Технологія 3D-друку відкриває нові горизонти в будівництві завдяки мінімізації відходів і використанню локальних матеріалів. Китайська компанія «WinSun Decoration Design Engineering» стала лідером у галузі 3D-друку будівель, розробивши стаціонарний екструдер параметрами 150 м на 10 м, який може за кілька годин звести будівлю заввишки до 6 м, використовуючи при цьому скловолокна, бетон, сталь, будівельне сміття та цемент. Одним із найяскравіших прикладів реалізації унікального рішення є застосування об'ємного 3D-друку при будівництві залізобетонного мосту в Амстердамі (Нідерланди). Аналогічний проєкт було реалізовано й в Іспанії. У Каліфорнії (США) компанія ICON створює доступне житло, надруковане на 3D-принтері, використовуючи біорозкладні композити [26, с.47-48].

Розумні будівлі обладнуються технологіями, які автоматично регулюють споживання енергії, освітлення, вентиляцію тощо. У Стокгольмі (Швеція) реалізований проєкт *Hammarby Sjöstad*, де всі будівлі інтегровані в єдину «розумну» мережу для управління енергією та ресурсами. У місті Сонгдо (Південна Корея) створені «розумні» будинки, які автоматично налаштовують освітлення та температуру відповідно до присутності людей у приміщенні [24, с.208-209]. Країни Азії, зокрема Китай, впроваджують низьковуглецеві матеріали, такі як бамбук (швидкорослий і відновлюваний ресурс) у будівництво масштабних проєктів [4]. Одним із яскравих прикладів є вітряні вежі, виготовлені з бамбука, які демонструють високу енергоефективність та значне скорочення викидів парникових газів під час будівництва.

Досить часто інноваційні ідеї дизайнери, інженери запозичують у природи, внаслідок чого виник такий напрям, як біофільний дизайн, який передбачає інтеграцію природних елементів у будівлі, що сприяє зниженню стресу та покращенню здоров'я людей. У Сідней (Австралія) будівля «One Central Park» має інтегровані вертикальні сади та дзеркальні системи, що направляють природне світло в темні частини споруди. У Норвегії, Швеції у сучасних офісах активно використовуються натуральне дерево, рослинність і панорамні вікна для створення відчуття гармонії з природою [27].

Таким чином, розвинені країни демонструють успішний досвід інтеграції екологічних та інноваційних технологій у будівництво, забезпечуючи високу ефективність та мінімальний вплив на довкілля.

Аналіз основних напрямів прогресивного зарубіжного досвіду дозволив з'ясувати, що кожна країна робить акцент на певний вид інновацій у будівельній галузі, залежно від своїх національних пріоритетів, ресурсів та потреб. Це обумовлено як специфікою самої країни, так і особливостями інноваційного розвитку. Українські будівельні підприємства можуть перейняти ці практики, адаптувавши їх до локальних умов, щоб зробити вагомий внесок у глобальний сталий розвиток.

Значні інвестиції США в наукові дослідження та розробки, що перевищують половину загальноєвропейських витрат, сприяли лідерству країни у виробництві інноваційної продукції та технологій. Витрати США на НДДКР перевищують разом витрати Англії, Франції, Німеччини та Італії і становлять більше половини цих витрат розвинених країн. Це призвело до того, що в США продається 90% нових товарів і лише 10% тих, що надійшли на ринок більше як 5 років тому [24, с.80].

Державна підтримка також є важливим фактором, зокрема через програми фінансування досліджень та розробок, які сприяють розвитку стартапів. Серед будівельних компаній США, які є інноваційними лідерами, рівень впровадження інноваційних технологій таких, як інформаційне моделювання будівель (BIM), аналітика великих даних та системи управління проєктами, варіюється від 69% до 86% [5, с.15]. BIM-технології забезпечують ефективне планування, моделювання та

управління будівельними проєктами, дозволяють оптимізувати використання ресурсів і забезпечувати високий рівень взаємодії між учасниками проєктів. Лідери галузі, такі як Bechtel та Fluor Corporation, активно застосовують BIM та передове програмне забезпечення для підвищення ефективності проєктів [5].

США також є світовим лідером у галузі зеленого будівництва. Понад 70 тис. будівель в США мають сертифікати за стандартами LEED (Leadership in Energy and Environmental Design – система сертифікації зелених будівель), що свідчить про масштабність руху за стале будівництво. Стандарти LEED та WELL (стандарт, що оцінює вплив будівель на здоров'я та добробут людей), які оцінюють енергоефективність, якість матеріалів, внутрішнє середовище та вплив будівель на здоров'я людей, стали визнаними міжнародними бенчмарками. Будівлі, сертифіковані за цими стандартами, як правило, мають нижчі експлуатаційні витрати, підвищують вартість нерухомості та сприяють здоров'ю та добробуту своїх мешканців [6]. The Bullitt Center в Сіетлі, вважається однією з найекологічніших офісних будівель у світі, з нульовим викидом вуглецю і самодостатністю в енергії.

Також будівельні компанії США демонструють першість у автоматизації, використанні дронів для моніторингу будівельних майданчиків та технологій 3D-друку, що дає змогу суттєво скоротити терміни проєктування та підвищити ефективність будівництва. Американські компанії активно впроваджують відновлювані матеріали, наприклад, біобетон, композитні матеріали, що знижують негативний вплив на довкілля. Однак, порівняно з Німеччиною та Японією, США демонструє повільніше впровадження передової робототехніки та автоматизації в будівництві.

США, з їх культурою мобільності та частой зміни місця проживання, стали ідеальним середовищем для розвитку модульного будівництва. Швидкість зведення та легкість демонтажу модульних будинків дозволяють легко адаптуватися до мінливих потреб сучасного суспільства. Крім того, інвестиції в наукові дослідження та державна підтримка сприяли створенню високотехнологічних модульних конструкцій, які за якістю та комфортом не поступаються традиційним будівлям. Це, у свою чергу, зробило модульне будівництво привабливим не лише для індивідуальних забудовників, але й для великих компаній, що шукають гнучкі рішення для розміщення своїх співробітників.

Канада активно впроваджує стандарти LEED та зосереджена на зменшенні впливу на довкілля через інноваційні будівельні методи та матеріали. Наприклад: VanDusen Botanical Garden Visitor Centre в Ванкувері є одним з найбільш екологічно стійких будівель в Канаді, зі статусом LEED Platinum. Також, Toronto-Dominion Centre, великий комерційний комплекс в Торонто, здійснив значні зусилля для досягнення статусу LEED Gold у всіх своїх будівлях, зосереджуючись на енергоефективності та сталому управлінні водними ресурсами [6].

Німеччина лідирує у сфері екологічної стійкості, маючи потужну нормативно-правову базу, що стимулює практику зеленого будівництва. Будівельні компанії, Hochtief та Züblin, відомі своєю увагою до інженерної досконалості та ефективності. Особлива увага приділяється точному машинобудуванню та високим стандартам будівництва [1, с. 337].

Також у Європі особливу увагу приділяють використанню теплоізоляційних матеріалів, таких як мінеральна (базальтова) вата та екологічно чисті альтернативи полістиролу. Ці матеріали дозволяють знизити споживання енергії на опалення взимку та кондиціонування влітку, що скорочує витрати енергії до 30%. Наприклад, у Німеччині та Скандинавських країнах активно впроваджуються стандарти «пасивного будинку», де теплоізоляція відіграє центральну роль у збереженні енергоресурсів [14, с. 108].

Великобританія є лідером у сфері сталого будівництва, особливо з впровадженням BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), однієї з найстаріших та найбільш визнаних систем оцінки сталості будівель у світі. Наприклад The Edge в Лондоні, відомий своєю енергоефективністю, використовує сонячні панелі та інші технології для створення «зеленої» будівлі [7, с. 158].

Японія демонструє високий рівень автоматизації та використання робототехніки в будівництві, що частково зумовлено демографічними проблемами та скороченням робочої сили. Також, японські будівельні фірми є лідерами у сфері використання простору та компактного проектування будівель, що є відповіддю на обмеженість земельного простору країни. Будівельна галузь Японії характеризується інноваційними підходами до сейсмостійкого проектування та будівництва. Такі компанії, як Shimizu Corporation та Kajima Corporation, є лідерами у сфері сейсмічних технологій та стійкості будівель [2, с. 717-718].

У Південній Кореї інновації розглядаються у вигляді високотехнологічних будівельних матеріалів та розумних методів будівництва. Це відображає загальну тенденцію технологічного розвитку країни. Сучасні інновації в цій галузі охоплюють не тільки новітні матеріали, які покращують довговічність і ефективність будівель, але й інтелектуальні системи управління будівельними процесами, що сприяють оптимізації роботи та зменшенню впливу на довкілля. Наприклад, компанія Samsung C&T Corporation відома своєю роботою над Лотте Ворлд Тауер, що є прикладом використання передових технологій, таких як високоміцний бетон і сталеві рами для забезпечення стійкості до сейсмічної активності та вітрових навантажень. Також компанія використовує передові технології у своїх проектах, включаючи інтелектуальні системи будівництва та інноваційні будівельні матеріали [29, с.341-342].

Австралія зосереджується на використанні зелених технологій та інноваційних підходів у будівництві. Green Building Council of Australia

розробила систему сертифікації Green Star, яка оцінює сталість будівель. Наприклад, Pixel Building в Мельбурні, який має найвищий рейтинг Green Star і використовує 100% відновлювану енергію [11, с.25].

Слід також відзначити, що наразі у всьому світі спостерігається розвиток цифрових технологій, до яких відносять Building Information Modeling (BIM), «розумні» будинки (дозволяють автоматизувати освітлення, опалення, вентиляцію, безпеку тощо), використання Big Data аналітики, робототехніки, віртуальної та доповненої реальності, дронів, інтернету речей. Цифровізація докорінно змінює традиційні підходи в будівництві, але регіональні особливості суттєво впливають на те, як ці тенденції проявляються в різних країнах. Так, у Європейському Союзі, Великій Британії BIM став обов'язковим для всіх державних замовлень. У розвинених країнах, зокрема в ЄС, США чи Сингапурі, цифрові технології впроваджуються швидше через доступність інвестицій, кваліфіковану робочу силу та сприятливе законодавство. Водночас у країнах, що розвиваються, включно з Україною, такі ініціативи лише формуються, хоча ДСТУ BIM уже починає застосовуватись, основними проблемами наразі є недостатній розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, фінансування та нестача кваліфікованих спеціалістів. У регіонах із розвинутою інфраструктурою (наприклад, Північна Америка, Західна Європа) цифрові інструменти інтегруються завдяки вже існуючим платформам та мережам. Цифровізаційні тренди також обумовлені культурними особливостями. Наприклад, у Японії сформована культура інновацій, поважного ставлення до кваліфікованої відповідальної роботи. Це пов'язано з японським прагненням до ефективності, точності та якості, що висуває на передній план високі стандарти роботи і прагнення уникати людських помилок, яке втілюється у прихильності до автоматизації. Також Японія має довгу традицію впровадження новітніх технологій і робототехніки в різних сферах життя, а розвиток технологій вважається важливим культурним здобутком, що активно підтримується державою і суспільством. Відтак, у інноваційному розвитку Японії особливий акцент робиться на роботизації та автоматизації: у будівництві роботів використовують для укладання цегли та зварювальних робіт, тоді як в Україні подібні рішення поки є рідкістю через вартість і відсутність нерозвиненість технологій. У випадку Індії, так само як і в Україні, основну роль відіграє культура відносно дешевої та широкодоступної робочої сили. Тому у багатьох регіонах Індії і в Україні все ще поширене використання ручної праці, оскільки робота в будівництві забезпечує зайнятість великій кількості людей. Це зберігає культурно-економічну модель, де людський ресурс домінує над автоматизацією.

Що стосується Big Data аналітики - аналізу великих обсягів даних, то в розвинених країнах будівельні компанії широко застосовують спеціальні програми, штучний інтелект, щоб прорахувати потенційні напрями оптимізації бізнес-процесів (вибір ділянки під забудову, оцінка типу забудови, форм інвестування), оцінити економічну ефективність і ризики, тоді як в Україні поки робиться акцент на базовій автоматизації.

Також в будівництві застосовують технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR), які дозволяють проводити віртуальні презентації проєктів, здійснювати навчання для будівельників. У світі вони часто застосовуються в складних архітектурних проєктах, а в Україні поки залишаються переважно на етапі експериментального впровадження, переважно через брак фінансових ресурсів.

Висновки. Інноваційна діяльність у будівельній галузі розвинених країн демонструє, що майбутнє будівництва лежить у гармонійному поєднанні технологій, екологічності та соціальної відповідальності. Основними інноваційними трендами в будівельній галузі розвинених країн є цифровізація (BIM, використання Big Data аналітики, робототехніки, віртуальної та доповненої реальності, дронів, інтернету речей), екологічність (рециклінг, зелений дизайн) і автоматизація (3D-друк, робототехніка, «розумні» будинки). Стандарти сталого будівництва, такі як LEED, BREEAM та Green Star, стають дедалі популярнішими, сприяючи зменшенню екологічного сліду будівельної галузі та підвищенню якості життя людей, відкривають нові можливості для створення індивідуальних та енергоефективних будівель.

Війна внесла значні корективи в пріоритети та стратегії розвитку будівельного сектору України. Відновлення країни – це унікальна можливість створити сучасну та екологічну інфраструктуру, яка відповідатиме найвищим світовим стандартам. Спільні проєкти з міжнародними партнерами дозволять пришвидшити впровадження інновацій та створити більш стійку та конкурентоспроможну будівельну галузь. Війна також підкреслила важливість міжнародної співпраці та обміну досвідом, залучення іноземних інвестицій, технологій та експертизи є критично важливим для відновлення та розвитку будівельного сектору України.

Наразі Україна активно долає цифровий розрив з країнами ЄС, активно впроваджує цифрові рішення, в першу чергу на рівні державного адміністрування. Це дозволяє сподіватись, що наша країна має всі шанси стати частиною цього глобального тренду. Для цього в Україні необхідно створити сприятливе середовище для впровадження BIM-технологій, запустити пілотні проєкти з використанням екологічних матеріалів та розробити нові стандарти зеленого будівництва, інвестувати в розвиток робототехніки, автоматизації, «розумних будинків», та 3D-друку.

Використання зарубіжного досвіду інноваційної діяльності в будівельному секторі є цінним прикладом для наслідування, що дозволить не лише підвищити конкурентоспроможність українських будівельних компаній на світовому ринку, а й зробить нашу країну більш екологічною та економічно ефективною.

References:

1. Berlak, J., Hafner, S., Kuppelwieser, V. G. (2021). Digitalization's impacts on productivity: a model-based approach and evaluation in Germany's building construction industry. *Production Planning & Control*, 32(4), 335-345.

2. Nagatani, K., Abe, M., Osuka, K., Chun, P. J., Okatani, T., Nishio, M., & Asama, H. (2021). Innovative technologies for infrastructure construction and maintenance through collaborative robots based on an open design approach. *Advanced Robotics*, 35(11), 715–722.
3. Merino, M.R., Gracia, P.I. and Azevedo, I.S.W. (2010). Sustainable Construction: Construction and Demolition Waste Reconsidered. *Waste Management & Research*, 28, 118-129.
4. Mossin, N., Stilling, S., Bojstrup, T. C., Hau, I. C., Steensen, C., & Blegvad, A. (2021). *An Architecture Guide to the UN 17 Sustainable Development Goals (Vol. 2)*. Copenhagen: KADK <http://surl.li/abcftm>
5. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Hoboken, New York: John Wiley & Sons. 640 c.
6. Newsham, G. R., Mancini, S., & Birt, B. J. (2009). Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but... *Energy and Buildings*, 41(8), 897–905.
7. Shibani, A., Agha, A., Hassan, D., & Naomi, F. (2021). The impact of green certification BREEAM on occupancy rates of commercial buildings in the UK. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 8(9), 153–167.
8. El-Sayegh, S., Romdhane, L., & Manjikian, S. (2020). A critical review of 3D printing in construction: Benefits, challenges, and risks. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20, 1–25.
9. Erdogmus, E., Harja, M., Gencel, O., Sutcu, M., & Yaras, A. (2021). New construction materials synthesized from water treatment sludge and fired clay brick wastes. *Journal of Building Engineering*, 42. Article 102471. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102471>
10. The Verkhovna Rada of Ukraine (1996). The Law of Ukraine “Ramkova konventsiia Orhanizatsii Obiednanykh Natsii pro zminu klimatu”, available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text (Accessed: 18.01.2023p.)
11. Herzog, L., Herzog, T. (2020). On flexible and green design. Perspectives and personal reflections. *AGATHÓN International Journal of Architecture, Art and Design*, 8, 20-31.
12. Macke, J., Rubim Sarate, J. A., & de Atayde Moschen, S. (2019). Smart sustainable cities evaluation and sense of community. *Journal of Cleaner Production*, 239, Article 118103. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118103>
13. Bertoldi, P., Economidou, M., Palermo, V., Boza-Kiss, B., & Todeschi, V. (2021). How to finance energy renovation of residential buildings: Review of current and emerging financing instruments in the EU. *WIREs Energy and Environment*, 10, Article e384. <https://doi.org/10.1002/wene.384>
14. Davis, P., Gajendran, T., & Owi, T. (2016). Assessing construction innovation: Theoretical and practical perspectives. *Construction Economics and Building*, 16(3), 104–115.
15. Iacovidou, E., Purnell, P., Tsavdaridis, K. D., & Poologanathan, K. (2021). Digitally enabled modular construction for promoting modular components reuse: A UK view. *Journal of Building Engineering*, 42, Article 102820.
16. World Commission on Environment and Development. (1987). *Our*

Common Future. Oxford: Oxford University Press. <https://sal0.li/9B4013B>

17. President of Ukraine (2019) Decree of the President of Ukraine “Pro Tsili staloho rozvytku Ukrainy na period do 2030 roku”, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08#Text> (Accessed: 18.01.2023p.)

18. Ray, R. L., Sishodia, R. P., & Olutimehin, T. (2022). Rainwater harvesting for sustainable water resource management under climate change. In Q. Tang & G. Leng (Eds.), *Climate Risk and Sustainable Water Management*, pp. 374–400. <https://doi.org/10.1017/9781108787291.021>

19. Inbar, Y. (2007). New standards for treated wastewater reuse in Israel. In M. K. Zaidi (Ed.), *Wastewater Reuse – Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security*, pp. 291–296. NATO Science for Peace and Security Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6027-4_28

20. The Green Revolution: How Green Roofs and Living Walls Are Transforming Urban Spaces. (2022). Retrieved from: <https://sal0.li/b29579B>

21. Fewings, P., & Henjewe, C. (2019). *Construction Project Management: An Integrated Approach*, London: Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781351122030>

22. von Hirschhausen, C. (2014). The German “Energiewende” – An introduction. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 3(2), 1–20.

23. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schloemer, S., & von Stechow, C. (2011). *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. IPCC. Retrieved from <https://sal0.li/528610c>

24. Zghalat-Lozynska L. O. (2020). *Derzhavne rehuliuвання innovatsiinoi diialnosti v budivnytstvi: teoriia, metodolohiia, stratehiia rozvytku : monohrafiia* [State regulation of innovative activity in construction: theory, methodology, development strategy: monograph]. Kyiv «DKS-Tsentr» (in Ukrainian)

25. Hiramatsu, Y., Tsunetsugu, Y., Karube, M., Tonosaki, M., Fujii, T. (2002). Present State of Wood Waste Recycling and a New Process for Converting Wood Waste into Reusable Wood Materials. *Materials Transactions*, Vol. 43, no3, 332-339.

26. Zgalat-Lozynska L.O., Zgalat-Lozynskyi O.B. (2020). Rozvytok ta vprovadzhennia innovatsiinykh tekhnolohii 3D-druku u budivnytstvi [Development and implementation of innovative 3D printing technologies in construction]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Ekonomika i upravlinnia*, vol. 31(70), no 5, 45-51.

27. Kellert, S., Heerwagen, J., & Mador, M. (2011). *Biophilic Design* (1st ed.). Wiley. Retrieved from: <https://sal0.li/10758Fb>

29. Son, H., Kim, C., Chong, W. K., & Chou, J. S. (2011). Implementing sustainable development in the construction industry: constructors' perspectives in the US and Korea. *Sustainable Development*, 19(5), 337-347.

V. Lych, A. Hazukin

Foreign experience of innovative activity of construction enterprises in developed countries

This paper analyzes current trends in innovation in the construction

industry of developed countries and identifies ways to adapt best practices to enhance the competitiveness of Ukrainian construction companies.

Recognizing construction as a crucial sector of the economy, the authors note its significant negative impact on the environment due to waste generation, pollutant emissions, and ecosystem destruction. The study argues that innovative development is key to improving the environmental and economic efficiency of construction companies and ensuring sustainable development. Key factors shaping current trends in the construction industry abroad are identified, including the growing focus on sustainability and environmental responsibility, the ratification of international standards, changes in consumer preferences, the need for investment, high competition, and the digitalization of administration. The paper emphasizes the need to implement new technologies such as Building Information Modeling (BIM), automation, robotics, and 3D printing. The benefits of integrating green standards such as LEED, BREEAM, and Green Star, which contribute to reducing the negative environmental impact of the construction industry, are considered. Global trends, including environmental responsibility, digitalization, the use of energy-efficient and bio-based materials, and eco-conscious construction, are also analyzed. Based on the international experience of countries such as the United States, Germany, the United Kingdom, Japan, South Korea, and Australia, effective approaches to the innovative development of the construction industry are highlighted. Priorities for innovation in the United States include digitalization and the development of smart cities, while in European countries, the focus is on increasing environmental friendliness and energy efficiency, and in Japan, on robotics, automation, and earthquake-resistant technologies. The conclusion is that utilizing foreign experience in innovation in the construction sector will contribute not only to enhancing the competitiveness of Ukrainian construction companies but also to global environmental and economic sustainability.

Keywords: *innovation activity, foreign experience, innovative development, construction enterprises, innovations, sustainable construction, digitalisation, information modelling of buildings, modular construction, green construction, biosphere-compatible technologies, eco-conscious construction.*

Посилання на статтю:

АРА: Lych, V., Hazukin, A. (2023). Foreign experience of innovative activity of construction enterprises in developed countries. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 52(2), 202-216.

ДСТУ: Лич В.М., Газукін А.Г. Зарубіжний досвід інноваційної діяльності будівельних підприємств в розвинутих країнах. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52 (2). С. 202-216.