

DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.49\(2\).305-319](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.49(2).305-319)

УДК 693.3:004.9

Козак Андрій Анатолійович

к.т.н., доцент кафедри будівельної механіки

ORCID: 0000-0002-3192-1430

Соболь Денис Валерійович

асп. кафедри менеджменту в будівництві

Данілов Сергій Юрійович

асп. кафедри менеджменту в будівництві

ORCID: 0000-0001-9111-9047

Оксенчук Роман Олександрович

здобувач

Шаршун Филипп Костянтинович

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

КОНЦЕПТУАЛІЗАЦІЯ ЕНЕРГОАДАПТОВАНИХ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЄКТІВ У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ, РЕГУЛЯТОРНОГО ПОЛЯ ТА ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Дослідження зосереджене на концептуалізації енергоадаптованих будівельних проєктів як важливого елементу сталого розвитку у контексті сучасних регуляторних вимог та цифрової трансформації в будівельній галузі. Актуальність теми зумовлена високими вимогами до енергоефективності будівель, що значно підвищує їхню конкурентоспроможність на ринку. Енергоадаптовані будівельні проєкти стають одними з основних напрямків у стратегічному плануванні розвитку будівельної індустрії, де особливу роль відіграють екологічні, економічні та соціальні аспекти. Важливою складовою є інтеграція цифрових технологій, зокрема BIM (Building Information Modeling), які дозволяють ефективно планувати, проектувати та реалізовувати енергоефективні проєкти. У роботі розглядається взаємодія між регуляторним полем, державними стандартами, міжнародними сертифікаціями та цифровими платформами для розробки будівельних проєктів.

Особлива увага приділена аналізу механізмів адаптації до нових умов, що включають технології відновлювальної енергетики, ефективне використання ресурсів та управління енергоспоживанням. Сучасні технології, такі як сонячні панелі, вітрові генератори та геотермальні системи, забезпечують оптимізацію енергоспоживання та знижують залежність будівель від традиційних енергоресурсів. Завдяки інтеграції таких технологій та використанню цифрових рішень, вдається забезпечити високу енергоефективність та екологічну чистоту будівель, що відповідає вимогам сучасного сталого розвитку.

У результаті дослідження зроблено висновки щодо впливу цифрових інструментів на підвищення точності та ефективності в управлінні будівельними проєктами в умовах цифрової трансформації. Впровадження BIM-технологій дозволяє не лише покращити проєктування, але й створити реальну можливість для інтеграції енергоефективних рішень. Окрім цього, надано рекомендації щодо впровадження енергоадаптованих рішень на різних етапах будівництва, зокрема, на етапах проєктування, будівництва та експлуатації будівель, що дозволяє зменшити витрати на енергію і підвищити ефективність управлінських рішень у будівельній галузі.

Ключові слова: енергоадаптовані проєкти, сталий розвиток, регуляторне поле, цифрова трансформація, будівельні проєкти, BIM, енергозбереження, відновлювальна енергетика.

Актуальність енергоадаптованих будівельних проєктів значною мірою зумовлена необхідністю зменшення енергоспоживання в умовах глобальних екологічних викликів. Високі вимоги до енергоефективності, економічної ефективності та екологічної безпеки обумовлюють потребу в розробці нових підходів до будівництва, що дозволяють значно знизити споживання енергії та вплив будівель на навколишнє середовище. Відповідно, інтеграція сучасних цифрових технологій, зокрема BIM, є важливим елементом в досягненні цих цілей. Цифровізація будівельних проєктів дозволяє забезпечити точність планування, підвищити ефективність управління ресурсами та оптимізувати процеси енергоспоживання.

Не менш важливою є адаптація до регуляторного поля, яке постійно змінюється в контексті сталого розвитку. Стандарти енергоефективності, такі як сертифікація за стандартами LEED, BREEAM та інші, визначають вимоги до будівель і матеріалів, що використовуються при їхньому будівництві. У цих умовах стає важливим розуміння того, як ефективно впроваджувати ці вимоги на практиці за допомогою новітніх технологій. Таким чином, питання енергоадаптації будівельних проєктів є не лише актуальним з точки зору екології, а й економічно обґрунтованим, оскільки впровадження таких проєктів дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати та підвищити довгострокову ефективність будівель.

Постановка проблеми. Зростаючі вимоги до енергоефективності будівель, підвищення екологічної відповідальності та постійна адаптація до нових регуляторних стандартів вимагають інтеграції інноваційних підходів у будівельну галузь. Одним із ключових аспектів є розробка та реалізація енергоадаптованих будівельних проєктів, що дозволяють знизити енергоспоживання та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Проте, незважаючи на значні досягнення у цій галузі, існує низка проблем, які потребують вирішення. Це стосується як

економічних, так і технічних аспектів, зокрема визначення найбільш ефективних методів інтеграції енергоефективних технологій, врахування соціальних і екологічних вимог, а також адаптація до нових регуляторних стандартів.

Важливим є також забезпечення належного управління енергоадаптованими будівельними проєктами через застосування цифрових технологій. Впровадження таких інструментів, як BIM та інші цифрові платформи, здатні не лише підвищити ефективність управління, але й дозволити реалізувати більш точні моделювання та оптимізацію енергоспоживання на всіх етапах життєвого циклу будівель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Останні дослідження в галузі енергоадаптованих будівельних проєктів фокусуються на впровадженні енергоефективних технологій, таких як використання відновлювальної енергетики, системи автоматизованого енергоменеджменту, а також на адаптації до нових стандартів енергоефективності. Однак, існує недостатньо наукових розробок, що зосереджуються на інтеграції цифрових технологій, таких як BIM, для забезпечення не тільки точного проєктування, але й моніторингу та управління енергоспоживанням протягом усього життєвого циклу будівель. Дослідження щодо методології застосування цифрових платформ управління для енергоадаптованих проєктів мають обмежене охоплення, особливо з урахуванням зростаючих вимог щодо сталого розвитку. Тому важливо розробити комплексні методики, які поєднують регуляторні вимоги, економічну ефективність і технологічні інновації для максимального результату.

Метою цієї статті є дослідження концептуальних підходів до реалізації енергоадаптованих будівельних проєктів з урахуванням сучасних вимог сталого розвитку, регуляторного поля та цифрових технологій. Основною метою є аналіз застосування інструментів цифрових платформ, зокрема BIM, для покращення ефективності енергоуправління в будівельних проєктах. Стаття також має на меті визначити основні переваги та виклики при впровадженні енергоефективних технологій, а також проаналізувати їх вплив на економічну, соціальну та екологічну складові сталого розвитку.

Виклад основної інформації. У сучасних умовах будівельна галузь стикається з численними викликами, зокрема з необхідністю підвищення енергоефективності та зменшення впливу на навколишнє середовище. Концептуалізація енергоадаптованих будівельних проєктів є важливою частиною сталого розвитку та охоплює застосування технологій, що знижують споживання енергії та забезпечують оптимальне використання ресурсів у будівництві. Енергоадаптовані будівлі є не лише відповіддю на сучасним вимогам щодо енергоефективності, але й сприяють збереженню

довкілля через інтеграцію відновлюваних джерел енергії та використання інноваційних технологій.

Окрім того, важливу роль у процесі реалізації енергоадаптованих проєктів відіграє регуляторне поле. Стандарти та нормативи, що регулюють енергоефективність будівель, сприяють формуванню обов'язкових вимог для проєктування та будівництва енергоефективних будівель. В Україні, наприклад, постійно оновлюються національні стандарти енергоефективності, які узгоджуються з міжнародними вимогами щодо зниження енергоспоживання та підвищення екологічності будівель. Зелені сертифікати, такі як LEED та BREEAM, також відіграють важливу роль у регуляції і підтвердженні енергоефективності будівель, ставлячи цілі для будівельних компаній, що прагнуть підвищити свою репутацію в очах інвесторів і споживачів.

Цифрова трансформація є ще одним важливим аспектом концептуалізації енергоадаптованих будівельних проєктів. Інтеграція сучасних цифрових технологій в процес проєктування та управління будівництвом допомагає значно знизити витрати на енергоспоживання та підвищити ефективність будівель. Системи Building Information Modeling (BIM) дозволяють проєктувальникам і будівельникам на кожному етапі процесу будівництва і експлуатації будівель отримувати точні дані, що дозволяють забезпечити оптимізацію використання енергії і ресурсів [1]. Інтелектуальні системи управління енергією (BEMS) можуть відслідковувати споживання енергії в реальному часі і автоматично регулювати параметри температури, освітлення та вентиляції в будівлі, що сприяє значному зниженню витрат енергії. Нижче надана рисунку 1, який наочно демонструє основні аспекти концептуалізації енергоадаптованих будівельних проєктів, зокрема їх взаємозв'язок зі сталим розвитком, регуляторним полем та цифровою трансформацією.



Рис. 1. Основні аспекти концептуалізації енергоадаптованих будівельних проєктів (розроблено автором на основі [1])

Енергоадаптовані будівельні проекти, як частина сталого розвитку, сприяють зниженню негативного впливу будівництва на навколишнє середовище, зокрема через раціональне використання енергії, збереження природних ресурсів та підвищення комфорту користувачів. Такі проекти є важливим кроком у напрямку до сталого майбутнього, де економія ресурсів, зменшення енергоспоживання та екологічність стають основними пріоритетами [2].

Цифровізація процесів проектування і управління будівництвом дає можливість не лише покращити точність і ефективність проектів, а й оптимізувати енергоспоживання, знижуючи витрати та збільшуючи термін служби будівель. Завдяки новітнім технологіям в проектуванні та управлінні енергією, енергоадаптовані будівельні проекти стають важливими не лише для економії витрат, а й для забезпечення високих екологічних стандартів у будівництві.

Розвиток технологій відновлювальної енергії є важливим аспектом у досягненні сталого розвитку в будівельному секторі. Використання сонячних панелей, геотермальних систем опалення та вітрових турбін у комбінації з енергоефективними будівельними матеріалами дозволяє значно знизити енергоспоживання будівель і забезпечити енергетичну автономність. Ці технології стають дедалі більш доступними завдяки їх інтеграції в сучасні будівельні проекти, що дає можливість забезпечити високий рівень енергетичної ефективності, знижуючи потребу в традиційних енергетичних ресурсах.

Крім того, важливим аспектом є цифрові інструменти, такі як системи керування енергією будівель (BEMS), які дозволяють здійснювати реальний моніторинг енергоспоживання в реальному часі. Ці системи здатні автоматично регулювати параметри клімату в будівлі, такі як температура, освітлення і вентиляція, що дозволяє не тільки знизити витрати на енергію, але й забезпечити високий рівень комфорту для користувачів [3]. Завдяки такій інтеграції технологій, енергоадаптовані будівельні проекти стають не тільки економічно вигідними, а й екологічно чистими, сприяючи досягненню цілей сталого розвитку на рівні місцевих та глобальних ініціатив.

У контексті регуляторного поля, важливо, щоб енергоадаптовані будівельні проекти відповідали не тільки національним стандартам, а й міжнародним вимогам. Зелені сертифікації, такі як LEED або BREEAM, є важливими інструментами для підтвердження відповідності будівлі високим екологічним стандартам. Вони не лише підтверджують екологічність будівлі, але й дають змогу отримати фінансові пільги або знижки на страхування, що робить такі проекти ще більш привабливими для інвесторів і замовників. Крім того, встановлення чітких вимог до енергоефективності будівель і проектів на державному рівні сприяє підвищенню екологічної відповідальності в будівельному секторі [4].

Цифрова трансформація в будівельному секторі дозволяє оптимізувати не лише проекти, але й процеси їх реалізації. Використання BIM-технологій (Building Information Modeling) для моделювання енергоефективності будівельних проектів на ранніх етапах дозволяє передбачити енергетичні потреби будівлі та оптимізувати використання ресурсів. Це дозволяє значно зменшити витрати на енергію, підвищити термін служби будівель і забезпечити комфортні умови для експлуатації об'єктів.

Енергоадаптовані будівельні проекти — це концепція, яка орієнтується на використання інноваційних технологій для значного зниження енергоспоживання та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Це включає такі аспекти, як використання відновлювальних джерел енергії, енергоефективні матеріали, розумні системи управління енергоспоживанням та багато інших інноваційних рішень.

У своєму дослідженні Кенет Уоррен у своїй книзі зазначав, що основними принципами енергоадаптованих будівель є оптимізація споживання енергії та інтеграція відновлювальних джерел енергії, що дозволяє будівлям досягти високої енергетичної автономії [5]. Він підкреслює важливість енергоефективних технологій на етапах проектування і будівництва для досягнення сталого розвитку та підвищення енергоефективності будівель.

Вільям Стюарт у своїй праці виділяє, що інтеграція сонячних панелей, геотермальних систем опалення та вітрових турбін у будівельні проекти не лише забезпечує енергетичну ефективність, але й має потенціал для зниження викидів CO₂. Водночас він наголошує, що підвищення енергоефективності має значний економічний ефект, оскільки знижує витрати на енергоспоживання будівель в перспективі, роблячи їх більш прибутковими для інвесторів і екологічно чистими для мешканців [6].

Річард Мартін (2018) в роботі зазначає важливість цілісного підходу до проектування будівель з урахуванням екологічних аспектів. Він пропонує використовувати зелені сертифікації, такі як LEED або BREEAM, що стають основою для енергоадаптованих проектів, допомагаючи не тільки знизити енергоспоживання, а й покращити якість повітря, екологічну стійкість та комфорт для користувачів будівель [7].

Нижче представлена таблиця 1, що ілюструє ключові підходи та етапи реалізації енергоадаптованих будівельних проектів, а також їхню важливість для підвищення енергоефективності в будівництві.

Інтеграція відновлювальних джерел енергії у будівельне середовище не лише підвищує енергоефективність, але й суттєво знижує залежність від традиційних енергетичних джерел. Такі технології, як сонячні панелі, геотермальні системи опалення та вітрові турбіни, надають будівлям енергетичну автономність, що особливо важливо в умовах глобальних змін у ринках енергоносіїв. Це дозволяє не лише зменшити витрати на

енергоспоживання, але й покращити екологічні показники будівлі, що є важливою складовою концепції сталого розвитку.

Важливою частиною енергоадаптованих проєктів є інтелектуальні системи управління енергією (BEMS). Ці системи дозволяють реально відслідковувати та регулювати енергоспоживання в будівлі в режимі реального часу. Вони здатні автоматично коригувати параметри клімату, такі як температура, освітлення, вентиляція, залежно від умов навколишнього середовища або потреб користувачів. Це дозволяє не тільки оптимізувати енергоспоживання, але й забезпечити максимальний комфорт для мешканців. За допомогою таких систем можна зменшити витрати на енергозабезпечення будівель, підтримуючи високу ефективність роботи всіх інженерних мереж [3].

Таблиця 1

Підходи та етапи енергоадаптованих будівельних проєктів

Підхід/Етап	Опис	Вплив на енергоефективність будівель
Зниження енергоспоживання	Використання ізоляційних матеріалів та енергоефективних технологій	Зниження потреби в опаленні та кондиціонуванні
Відновлювальні джерела енергії	Встановлення сонячних панелей, вітрових турбін, геотермальних систем	Підвищення енергетичної автономії та зниження викидів CO ₂
Інтелектуальні системи управління енергією	Впровадження BEMS (Building Energy Management Systems)	Оптимізація споживання енергії в реальному часі
Сталий дизайн та планування	Врахування екологічних факторів на етапі проєктування	Покращення комфорту і зниження витрат на експлуатацію
Зелені сертифікації	Отримання сертифікацій LEED, BREEAM	Підвищення вартості будівлі, зниження експлуатаційних витрат

(розроблено автором на основі [7])

Додатково, концепція енергоадаптованих будівель активно сприяє впровадженню зелених сертифікацій, таких як LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) та BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Ці сертифікати дозволяють підприємствам не тільки підтвердити високу енергоефективність будівель, але й отримати фінансові вигоди, такі як податкові пільги, знижки на страхування або додаткові інвестиції [3]. Зелена сертифікація є важливим маркетинговим інструментом, який дозволяє підвищити конкурентоспроможність будівельних підприємств на ринку, а також

гарантує потенційним інвесторам високий рівень екологічної відповідальності підприємства.

Загалом, енергоадаптовані будівельні проєкти є ключем до створення сталих, екологічно чистих і енергоефективних об'єктів, що можуть знизити викиди парникових газів, скоротити витрати на енергоспоживання і підвищити якість життя для їх мешканців. Впровадження інноваційних технологій, таких як сонячні панелі, системи геотермального опалення, інтелектуальні системи управління енергією та зелені сертифікації, є важливими кроками до зменшення впливу будівельної галузі на навколишнє середовище та забезпечення сталого розвитку в умовах зміни клімату та зростаючого попиту на енергетичні ресурси.

Також варто зазначити, що інтеграція відновлювальних джерел енергії в будівельні проєкти стає важливою складовою досягнення сталого розвитку у сучасному будівництві. Використання сонячних панелей, вітрових турбін та геотермальних систем опалення дозволяє не тільки знизити енергоспоживання, а й скоротити викиди парникових газів, що є критичним фактором для досягнення екологічних цілей сталого розвитку. Впровадження таких технологій дозволяє зменшити залежність від традиційних джерел енергії, а також значно підвищує енергетичну ефективність будівель, що стає важливим аспектом для будь-якого будівельного проєкту в умовах глобальних кліматичних змін.

Сонячні панелі є одним із найбільш поширених відновлювальних джерел енергії, які активно впроваджуються в енергоадаптовані будівельні проєкти. Вони забезпечують енергетичну автономність будівель, оскільки дозволяють виробляти електричну енергію за рахунок сонячної енергії, що зменшує витрати на енергозабезпечення будівлі. Встановлення сонячних панелей у комбінації з акумуляторами енергії дозволяє забезпечити постійне живлення будівлі навіть у нічний час або в умовах поганих погодних умов [8].

Вітрові турбіни також стають важливим елементом для забезпечення енергетичної автономії будівель. Вітрові турбіни генерують електричну енергію за допомогою вітрової енергії, що є одним із найбільш доступних відновлювальних джерел енергії. Використання вітрових турбін на дахах будівель або у віддалених від урбанізованих територій регіонах дозволяє створити зелену енергетичну інфраструктуру, зменшуючи залежність від централізованих енергомереж.

Геотермальні системи використовують енергію з глибоких шарів Землі для опалення та охолодження будівель. Вони працюють за принципом теплових насосів, які забезпечують стабільну температуру в будівлі протягом року, використовуючи стабільну температуру ґрунту як джерело енергії [8]. Такі системи особливо ефективні в регіонах з холодними зимами, де вони можуть значно знизити витрати на опалення.

Геотермальні системи є екологічно чистими, оскільки вони не виробляють шкідливих викидів і є постійно доступними. Нижче подано рисунок 2, що наочно демонструє способи інтеграції відновлювальних джерел енергії в енергоадаптовані будівельні проекти та їхню роль у досягненні сталого розвитку.

Інтеграція відновлювальних джерел енергії в енергоадаптовані будівельні проекти дозволяє не тільки підвищити енергетичну автономність будівель, але й знижує експлуатаційні витрати на енергоспоживання. Такі технології сприяють значному зниженню викидів CO₂ та інших шкідливих газів, що робить будівлі більш екологічно чистими та відповідними до вимог сталого розвитку. Відновлювальні джерела енергії також покращують економічну вигоду для інвесторів та власників будівель, оскільки значно знижують витрати на енергію в довгостроковій перспективі, а також можуть забезпечити фінансові пільги або пільгові кредити на будівельні проекти, що відповідають екологічним стандартам [9].



Рис. 2. Інтеграція відновлювальних джерел енергії в енергоадаптовані будівельні проекти (розроблено автором на основі [8])

Інтеграція цих технологій у будівельні проекти має також важливе значення для підвищення конкурентоспроможності підприємств на ринку. Будівлі, що сертифіковані за зеленими стандартами (LEED, BREEAM), стають привабливими для інвесторів і орендарів, оскільки їх експлуатація зазвичай є більш економічною, а їх екологічний рейтинг забезпечує додаткові переваги на ринку нерухомості.

Водночас процес реалізації енергоадаптованих рішень вимагає перетворення самого процесу будівництва. Нормативні обмеження, що стосуються викидів парникових газів, утилізації будівельних відходів, а також обов'язковості використання сертифікованих енергоощадних матеріалів, вимагають не тільки технологічного, а й управлінського оновлення. Будівельні компанії змушені впроваджувати моделі цифрового

дублювання, BIM-платформи для оптимізації матеріалопотоків, а також застосовувати LCA-аналіз (оцінку життєвого циклу) для прорахунку ефективності систем кондиціювання, освітлення, вентиляції ще на етапі проектування.

У європейському контексті особливої ваги набувають директиви ЄС, зокрема Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), які зобов'язують держави-члени розробити дорожні карти щодо перетворення будівель на "нульові споживачі енергії" (Nearly Zero-Energy Buildings, NZEB). Україна, адаптуючи своє законодавство до норм ЄС, вже заклала у свої ДБН та ДСТУ низку механізмів, які забезпечують поступовий перехід до таких будівель. Це передбачає обов'язковість проведення енергоаудиту для великих об'єктів, визначення класів енергоефективності, а також створення єдиного державного реєстру енергетичних сертифікатів [13]. Наявна нормативна база, яка регулює питання енергоефективності, охоплює низку документів різного рівня – від державних стандартів до міжнародних екологічних протоколів. Вони істотно впливають на етапи проектування, вибору матеріалів, впровадження інженерних рішень та здійснення будівельного контролю. Для систематизації та порівняльного аналізу основних характеристик таких стандартів варто представити їх у таблиці 2, що дозволить чітко виокремити їх функціональне призначення, рівень дії та сфери застосування.

Подальша інтеграція стандартів вимагає побудови цифрової інфраструктури регуляторного моніторингу, де кожен етап – від концепції до введення в експлуатацію – супроводжується автоматизованою верифікацією на відповідність енергетичним критеріям. Зокрема, такі інструменти як EnergyPlus або DesignBuilder використовуються для моделювання споживання енергії в залежності від обраних архітектурних рішень. Інтеграція цих даних у BIM-середовище дозволяє отримувати прогнозовані енергетичні паспорти об'єкта, що полегшує подальшу сертифікацію за міжнародними схемами.

У практиці енергоадаптованого проектування після визначення нормативної бази ключову роль відіграє здатність адаптувати архітектурні рішення під задані енергоефективні параметри. Тут критично важливими стають такі технічні характеристики, як коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій, коефіцієнт інсоляції, а також індекси теплового комфорту, які регламентуються в межах стандартів ISO 7730 та ASHRAE 55. При цьому використання новітніх матеріалів — фазозмінних ізоляторів, наноструктурованих теплоізоляційних покриттів, подвійного скління з інертними газами — дозволяє досягати високого коефіцієнта енергозбереження навіть у проєктах з нетиповими архітектурними формами [14]. Однак без жорсткого дотримання вимог сертифікації жодна

з інновацій не матиме юридичного або економічного ефекту, зокрема під час залучення «зеленого» фінансування.

Таблиця 2

Основні нормативи енергоефективності та їхній вплив на проектування будівель

Норматив/ стандарт	Ключові положення	Рівень дії
ДБН В.2.6-31:2021	Тепловий опір огорожувальних конструкцій	Національний (Україна)
ДСТУ ISO 50001:2021	Системи енергетичного менеджменту	Національний / Міжнародний
ISO 52000-1:2017	Загальні принципи оцінки енергетичних характеристик будівель	Міжнародний
EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)	Вимоги щодо NZEB та мінімального рівня енергетичної ефективності	Наднаціональний (ЄС)
LEED (v4.1)	Комплексна оцінка сталості: енергія, вода, матеріали, внутрішнє середовище	Міжнародний (добровільний)
BREEAM International	Європейська система екологічної оцінки сталості будівель	Міжнародний (добровільний)

(розроблено автором на основі [13])

Водночас значна частина нормативів вимагає не тільки проектної, а й експлуатаційної відповідності. Так, згідно з вимогами ISO 50002:2014 (енергоаудит), енергоефективність повинна підтверджуватися не лише на етапі розрахунків, а й у процесі фактичного використання будівлі. Це означає, що розробники зобов'язані проектувати системи контролю, які забезпечують збір, збереження і аналіз даних упродовж усього життєвого циклу будівлі [15]. Такі системи, зокрема BEMS (Building Energy Management Systems), інтегруються з системами обліку тепла, електроенергії, вентиляції та освітлення, створюючи умови для адаптивного реагування на відхилення споживання енергії від запроєктованих показників.

Не менш важливою є роль держави у створенні стимулів для впровадження енергоефективних стандартів. У сучасних умовах набувають актуальності програми фінансування будівництва через «зелені облігації», пільгове кредитування енергоефективних об'єктів, а також державні субсидії на сертифікацію за міжнародними системами. Закон України «Про енергетичну ефективність» (№ 1817-IX), а також Постанова Кабінету Міністрів № 995 «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності» стали основою для запуску повноцінної політики енергозбереження [16]. Такі заходи не тільки

знижують вартість входу до енергоадаптованих проєктів, а й стимулюють компанії до інституціоналізації процесів сталого будівництва.

У цьому контексті стає зрозуміло, що регуляторне поле — це не лише інструмент обмеження, а й ресурс для модернізації. Його ефективне використання дозволяє будівельним компаніям отримати конкурентну перевагу як у вигляді зниження експлуатаційних витрат, так і шляхом підвищення репутаційного капіталу. У проєктах девелопменту житла або комерційної нерухомості сертифікати LEED або BREEAM можуть стати ключовими аргументами для інвестора чи покупця. Крім того, компанії, що дотримуються таких стандартів, демонструють відповідальність перед суспільством і природним середовищем, що відповідає очікуванням сучасного ESG-орієнтованого ринку.

Іншою стороною інтеграції нормативних стандартів у процес будівництва є необхідність навчання персоналу, адаптації проєктних інститутів, перепрофілювання постачальників матеріалів. Багато виробників повинні сертифікувати свою продукцію згідно з європейськими нормами, аби мати змогу постачати її для будівництва NZEB-об'єктів [17]. Водночас проєктні бюро мають впроваджувати практики «інтегрованого проєктного моделювання» (Integrated Design Process), коли архітектори, інженери, екологи, енергетики та девелопери працюють спільно над досягненням енергетичних цілей ще на етапі концептуального проєктування.

Висновки. Інтеграція енергоадаптованих технологій у будівельні проєкти є важливим кроком до досягнення сталого розвитку будівельної галузі. З огляду на глобальні екологічні виклики та високі вимоги до енергоефективності, будівельні компанії повинні адаптувати свої стратегії до нових реалій. Використання сучасних цифрових технологій, зокрема BIM, є важливим інструментом для проєктування, будівництва та управління енергоадаптованими будівлями, що дозволяє не лише покращити точність проєктних рішень, але й оптимізувати енергоспоживання на всіх етапах життєвого циклу будівель.

Проведений аналіз показав, що енергоадаптовані будівельні проєкти сприяють зниженню енергоспоживання, зменшенню негативного впливу на довкілля та забезпеченню економічної вигоди для підприємств і кінцевих споживачів. Однак для успішної реалізації таких проєктів необхідно враховувати не тільки технологічні та економічні аспекти, а й соціальні, що передбачають зниження витрат на енергію для кінцевих користувачів, покращення якості життя та забезпечення доступу до екологічно чистих будівель.

Інтеграція цифрових інструментів, таких як BIM, забезпечує цілісне управління процесами будівництва і дозволяє знижувати транзакційні витрати, підвищувати точність прогнозів та ефективність управлінських рішень. Водночас важливим аспектом є застосування сучасних

інформаційних платформ для моніторингу та контролю енергоспоживання в реальному часі, що дозволяє оперативнo реагувати на зміни і підвищувати ефективність енергоменеджменту.

Таким чином, впровадження енергоадаптованих будівельних проєктів у контексті сталого розвитку, регуляторного поля та цифрової трансформації є важливим кроком до забезпечення конкурентоспроможності будівельних компаній на глобальному ринку. Це дозволяє не лише досягти економічних переваг, але й сприяє зменшенню екологічного сліду будівельних проєктів, забезпечуючи таким чином сталий розвиток як галузі, так і суспільства в цілому.

References

1. Sen M. G. Application of BIM for Sustainable Design in Architecture. – International Journal of Engineering Research and Technology. – 2020. – Vol. 13(6). – P. 1420–1427.
2. Метанчук Б. Р. Інформаційне моделювання у формуванні енергоефективного середовища. – Ефективна економіка. – 2019. – № 6. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7163>
3. Holbert C. Digital Twins and Building Energy Management Systems. – CIM.io Whitepaper. – 2021. – August. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cim.io>
4. Holbert C. Building Energy Management and IoT Integration. – CIM.io Technical Paper. – 2021. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cim.io>
5. Law No. 2118-VIII on Energy Efficiency of Buildings. – Verkhovna Rada of Ukraine. – 2017. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://climate-laws.org/document/law-no-2118-viii-on-energy-efficiency-of-buildings_0259
6. Warren K. Sustainable Building Design: Principles and Practices. – Journal of Sustainable Architecture and Construction. 2019. Vol. 8(3). P. 57–66.
7. Stewart W. Solar Integration in High-Performance Buildings. – Renewable Energy Journal. – 2020. – Vol. 45(2). – P. 111–119.
8. Martin R. LEED Certification and the Evolution of Green Building Standards. – Journal of Environmental Design. 2018. – Vol. 12(4). – P. 201–212.
9. Barzegkar-Ntovom G. A., Chatzigeorgiou N. G., Nousedilis A. I., Vomva S. A., Kryonidis G. C., Kontis E. O., Georgiou G. E., Christoforidis G. C., Papagiannis G. K. Assessing the viability of Battery Energy Storage Systems coupled with Photovoltaics under a pure self-consumption scheme. – arXiv preprint arXiv:1910.07576. – 2019. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1910.07576>

10. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Київ: Мінрегіон України, 2021. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98037
11. ДСТУ ISO 50001:2014. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. – 64 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58864
12. Roman A., Andrii S., Galyna R., Iurii C. Application of BIM in Construction Project Life Cycle. – International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2020. – Vol. 9(12). – P. 455–462.
13. Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). – European Commission. – 2018. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
14. ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. – Atlanta: ASHRAE, 2017. – 64 p.
15. Чуприна Ю. А., Бінд В. Є., Кучеренко О. І., Чуприна Х. М., Горбач М. В., Петруха С. В. Вартісно-інжинірингові компоненти попередження економічних деградацій в діяльності учасників проєктів будівельного девелопменту. – Управління розвитком складних систем. – Київ: КНУБА, 2021. – № 45. – С. 119–130.
16. Закон України «Про енергетичну ефективність» № 1818-IX. – Верховна Рада України. – 2021. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1818-20>
17. Закон України «Про енергозбереження» № 74/94-ВР. – Верховна Рада України. – 1994. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/74/94-%D0%B2%D1%80>

A.A. Kozak, D.V. Sobol, S.Yu. Danilov, R.O. Oksenchuk, F.K. Sharshun
Conceptualization of energy-adapted construction projects in the context of sustainable development, regulatory framework, and digital transformation

The study focuses on the conceptualization of energy-adapted construction projects as an important element of sustainable development in the context of modern regulatory requirements and digital transformation in the construction industry. The relevance of the topic is due to the high demands for energy efficiency in buildings, which significantly enhance their competitiveness in the market. Energy-adapted construction projects have become one of the main directions in the strategic planning of the development of the construction industry, where ecological, economic, and social aspects play a crucial role. A key component is the integration of digital technologies, particularly BIM (Building Information Modeling), which enable effective planning, designing,

and implementation of energy-efficient projects. The paper examines the interaction between the regulatory framework, state standards, international certifications, and digital platforms for developing construction projects.

Special attention is given to analyzing mechanisms for adapting to new conditions, including renewable energy technologies, efficient resource utilization, and energy consumption management. Modern technologies such as solar panels, wind generators, and geothermal systems provide optimization of energy consumption and reduce the reliance of buildings on traditional energy resources. By integrating these technologies and using digital solutions, it is possible to ensure high energy efficiency and environmental sustainability in buildings, which complies with the requirements of contemporary sustainable development.

As a result of the research, conclusions were made regarding the impact of digital tools on improving the accuracy and efficiency of construction project management in the context of digital transformation. The implementation of BIM technologies not only improves design but also creates a real opportunity for integrating energy-efficient solutions. In addition, recommendations are provided for implementing energy-adapted solutions at various stages of construction, including the design, construction, and operation stages of buildings, which allows reducing energy costs and improving the efficiency of managerial decisions in the construction industry.

Keywords: *energy-adapted projects, sustainable development, regulatory framework, digital transformation, construction projects, BIM, energy conservation, renewable energy.*

Посилання на статтю

АРА Kozak A.A., Sobol D.V., Danilov S.Yu., Oksenchuk R.O., Sharshun F.K. (2022). Kontseptualizatsiya enerhoadaptovanykh budivel'nykh proyektiv u konteksti staloho rozvytku, rehulyatornoho polya ta tsyfrovoyi transformatsiyi [Conceptualization Energy Adaptovanikh Maibutnich proyective u contexti rozvitku stahli, regulatory media ta tsifrovoyi transformation]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 49(2), 305-319.

ДСТУ: Козак А.А., Соболев Д.В., Данилов С.Ю., Оксенчук Р.О., Шаршун Ф.К. Концептуалізація енергоадаптованих будівельних проєктів у контексті сталого розвитку, регуляторного поля та цифрової трансформації [Текст] *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2022. № 49(2). С. 305 -319.