

© В. В. Масленнікова, канд. екон. наук, доцент,
ORCID: 0000-0002-9694-8271,
e-mail: vicmasl2007@gmail.com
(Державний біотехнологічний університет)

© Viktoriia Maslennikova, PhD in Economic,
Associate Professors,
ORCID: 0000-0002-9694-8271,
e-mail: vicmasl2007@gmail.com
(State Biotechnology University, Kharkiv, Ukraine)

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЗЕЛЕНІЙ АРХІТЕКТУРІ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

ENERGY CONSERVATION IN GREEN ARCHITECTURE: MODERN APPROACHES, TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Анотація: Розглянуто концептуальні, технологічні та практичні аспекти енергозбереження в зеленій архітектурі. Особливу увагу приділено методам пасивного та активного енергоощадного проектування, сучасним матеріалам і системам, впливу містобудівних факторів та зеленої інфраструктури на енергетичний баланс будівель. Окремо досліджено міжнародні стандарти енергоефективності та можливості їхньої адаптації в Україні. Наведено приклади реалізованих об'єктів і дано рекомендації щодо впровадження комплексних енергозберігаючих стратегій у будівництві.

Ключові слова: зелена архітектура, енергозбереження, пасивний будинок, енергоефективність, зелені технології, сталий розвиток.

Abstract: The article discusses conceptual, technological and practical aspects of energy conservation in green architecture. Particular attention is paid to passive and active energy-saving design methods, modern materials and systems, the impact of urban planning factors and green infrastructure on the energy balance of buildings. International energy efficiency standards and the possibilities for their adaptation in Ukraine are examined separately. Examples of completed projects are provided, and recommendations are given for the implementation of comprehensive energy-saving strategies in construction.

Green architecture is a key area of development for the construction industry in the context of global environmental challenges. Energy conservation is its central element, which is determined by a complex of architectural, engineering and technological solutions.

The prospects for green architecture in Ukraine are linked to the improvement of the regulatory framework, the promotion of energy-efficient solutions and the development of professional education. Green architecture is an effective response to the energy and environmental challenges of the 21st century. Passive and active energy-saving methods, the integration of renewable energy sources, the use of green spaces and modern materials can significantly reduce the energy consumption of buildings. International standards and best practices show that it is possible to reduce thermal energy consumption by a factor of ten.

For Ukraine, the implementation of green architecture principles is strategically important. It will increase energy independence, reduce building operating costs, and contribute to improving the environmental condition of cities.

A comprehensive approach to design that takes into account urban planning, structural and technological aspects can make green architecture the foundation for the sustainable development of the domestic construction sector.

Keywords: green architecture, energy conservation, passive house, energy efficiency, green technologies, sustainable development.

Вступ

Проблема енергозбереження набула глобального значення через вичерпність традиційних енергоресурсів, зростання їхньої вартості та негативний вплив викидів на клімат. Будівельний сектор сьогодні є одним із найбільших споживачів енергії у світі, забезпечуючи

до 40 % загального енергоспоживання в розвинених країнах [1]. Зелена архітектура як концепція, що інтегрує екологічні, енергетичні та соціальні аспекти, пропонує системний підхід до зменшення навантаження на довкілля.

Енергозбереження в зеленій архітектурі охоплює декілька рівнів: планувальний, конструктивний, інженерний та експлуатаційний. Кожен із них формує сукупний потенціал скорочення споживання енергії будівлею. Тоді, як традиційне будівництво прагне забезпечити комфорт мешканців за рахунок складних інженерних систем, зелена архітектура робить ставку на оптимізацію природних процесів – інсоляції, вентиляції, акумуляції тепла, біотичного регулювання мікро-клімату.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питанням енергоефективності в архітектурі присвячено значний масив наукових праць. Теоретичні засади сталої архітектури сформульовано в роботах К. Александера, Н. Фостера, К. Фрея, які підкреслюють необхідність інтеграції будівлі, людини та довкілля. Згідно з Б. Бачером (B. Bacher, 2018), сталий будинок має бути спроектований як енергетично збалансована система, що мінімізує зовнішні витрати ресурсів та максимізує власні енергетичні можливості.

Дослідження енергоефективних технологій показують, що використання високотеплоізоляційних матеріалів, систем рекуперації повітря та пасивних сонячних стратегій дозволяє скоротити споживання енергії на 40–60 %. Наприклад, за даними Європейської комісії (2020), впровадження будівель класу «пасивний будинок» (Passivhaus) забезпечує мінімальні показники енергоспоживання на рівні 15 кВт·год/м² на рік.

У контексті зеленої архітектури важливим є також використання біоорієнтованих рішень. Роботи Т. Мацуяму (T. Matsuyama, 2021) доводять, що зелені дахи та фасади сприяють зменшенню теплових втрат узимку та перегріву влітку, забезпечуючи економію енергії до 25 %.

Українські вчені також приділяють увагу цій темі. Зокрема, Б. Лисенко (2022) розглядає переваги впровадження «зелених» матеріалів в архітектурі, а О. Мельник (2021) досліджує потенціал відновлюваних джерел енергії в будівництві України. Однак вітчизняна практика перебуває на початковому етапі інтеграції комплексних енергозберігаючих систем.

Метою цієї статті є аналіз основних напрямів енергозбереження в зеленій архітектурі, огляд технологій, оцінка їхньої ефективності та визначення перспектив застосування у вітчизняній практиці.

Основна частина

У XXI столітті стрімке зростання урбанізованих територій та підвищення енергоспоживання будівель створюють суттєві виклики для сталого розвитку. За даними міжнародних аналітичних організацій, будівлі споживають до 40 % усієї виробленої енергії та генерують близько третини викидів парникових газів. У відповідь на ці тенденції формується новий підхід до проектування – зелена архітектура, що ґрунтується на принципах енергоефективності, екологічності, низького ресурсомного використання матеріалів та інтеграції природних елементів у побудоване середовище.

Енергозбереження є ключовою складовою сталої архітектури. Воно охоплює використання інноваційних технологій, новітніх матеріалів, оптимізацію об'ємно-планувальних рішень, впровадження відновлюваних джерел енергії та комплексне управління енергетичними потоками. Дослідження енергозбереження в зеленій архітектурі сьогодні має особливе значення для України, яка впроваджує сучасні стандарти енергоефективності та прагне зменшити залежність від традиційних енергоресурсів.

Методологічна база дослідження ґрунтується на:

1. Аналітичному методі – опрацювання наукових джерел, нормативних документів, міжнародних стандартів енергоефективності.
2. Порівняльному аналізу – зіставлення різних енергозберігаючих технологій, оцінка їхньої ефективності та адаптивності до умов України.
3. Системному підході – розгляд будівлі як цілісної системи, в якій взаємодіють конструктивні, інженерні та екологічні компоненти.
4. Оцінці енергоефективності – аналіз коефіцієнтів теплопередачі матеріалів, ефективності обладнання, потенціалу відновлюваних джерел енергії.
5. Прогнозуванні – визначення перспектив розвитку енергозбереження в українській архітектурі на основі світових тенденцій.

Теоретичні основи енергозбереження в зеленій архітектурі полягають у концепції сталого розвитку та енергетичного балансу будівлі.

Принципи зеленої архітектури ґрунтуються на глобальних засадах сталого розвитку, визначених ООН: економічній ефективності, екологічній безпеці та соціальному добробуті [2]. У контексті енергозбереження це означає:

- зменшення енергоспоживання будівель,
- застосування відновлюваних джерел енергії,
- оптимізацію життєвого циклу будівельних матеріалів,
- адаптацію архітектурних рішень до природно-кліматичних умов.

Енергетичний баланс залежить від:

- теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій,
- інсоляційних властивостей фасадів,
- повітрообміну,
- ефективності інженерних систем,
- поведінки користувачів.

Зелена архітектура прагне мінімізувати втрати та максимізувати природні надходження енергії. Згідно з дослідженнями Європейського енергетичного агентства (ЕЕА), оптимізація архітектурної форми та орієнтації будівлі дозволяє скоротити споживання енергії на 15–25 % без додаткових витрат [3].

Існують пасивні та активні методи енергозбереження.

Пасивні методи є основою зеленого проектування. Вони дозволяють досягти енергоефективності без складних технічних систем. Пасивні методи є основою зеленої архітектури. Серед них:

- орієнтація та форма будівлі з урахуванням інсоляції та вітрових напрямків. Орієнтація будинку з урахуванням траєкторії сонця зменшує потреби в штучному освітленні та опаленні. У північній півкулі оптимально орієнтувати більші площі скління на південь, що забезпечує природну акумуляцію тепла взимку [4]. Доведено, що правильна орієнтація будівлі може зменшити витрати теплової енергії на 15–20 %;
- компактна форма будинку для мінімізації тепловтрат. Така форма будівлі мінімізує теплові втрати через поверхні огорожувальних конструкцій;

- теплоізоляція та герметичність. Сучасні теплоізоляційні матеріали – мінеральна вата, пінополіуретан, а також екологічні альтернативи (конопляні блоки, целюлоза) – забезпечують високий коефіцієнт опору теплопередачі. У концепції *пасивного будинку* опір теплопередачі стін має становити не менше ніж 6–8 м²·К/Вт [5]. Герметичність будівлі критично важлива: неконтрольовані втрати через щілини можуть збільшити споживання енергії на 20–30 %. Сучасна зелена архітектура передбачає застосування: целюлозної ізоляції, ековати, пробкових плит, аерогелів, багатошарових фасадних систем. Аерогелеві матеріали забезпечують теплопровідність на рівні 0,015–0,020 Вт/(м·К), що майже вдвічі ефективніше за традиційну мінеральну вату;

- пасивне сонячне опалення, яке передбачає:

- використання теплової маси (бетон, цегла, вода, камінь, ґрунт) для акумуляції енергії та для стабілізації мікроклімату;

- оптимізацію коефіцієнта світлопроникності скла (площі скління) (південні фасади – більше світла, північні – мінімум втрат);

- застосування сезонних сонцезахисних елементів. (перголи, жалюзі, навісні системи);

- природна вентиляція. Зелена архітектура віддає перевагу гравітаційній, перетинній та шахтній вентиляції. Їхня ефективність підвищується через продумане розташування отворів і повітропроводів. Зменшення навантаження на механічну вентиляцію скорочує до 10–15 % витрат енергії [6].

До активних систем енергозбереження відносять:

- відновлювані джерела енергії. У зеленій архітектурі найчастіше використовують:

- сонячні панелі (фотовольтаїка). Вони можуть покрити 30–70 % річного енергоспоживання житлового будинку;

- інтелектуальні системи управління енергією, а саме сучасні BMS (Building Management Systems) автоматично регулюють: вентиляцію і рекуперацію, освітлення, роботу котлів та теплових насосів;

- сонячні трекери для панелей. Впровадження таких систем дає економію до 30 %;

- геліоколектори для нагрівання води;

- теплові насоси. Геотермальні теплові насоси забезпечують ККД 300–400 % завдяки

використанню стабільної температури ґрунту;

– вітрогенератори малої потужності. Вітрові мікротурбіни в умовах України можуть виробляти до 1500 кВт·год/рік для індивідуальних будинків.

Комбіновані системи можуть забезпечувати до 70–90 % річної потреби будівлі в енергії [7];

• рекуперация тепла. Системи вентиляції з рекуперациєю повертають до 80–95 % тепла, що виходить з будівлі. У низькоенергетичних будівлях рекуператори є обов'язковим елементом;

• «розумні» системи керування. Системи автоматизації контролюють:

- освітлення,
- опалення та кондиціонування,
- роботу жалюзі,
- витрати води.

Згідно з даними міжнародної асоціації *Smart Buildings Alliance*, інтелектуальні системи знижують енергоспоживання на 15–30 % [8].

Зелені насадження виступають як елемент енергозбереження. В зеленій архітектурі застосовують зелені дахи, зелені стіни (вертикальні сади), а також дерева навколо будинків.

Зелені дахи виконують функції:

- теплової ізоляції,
- акумуляції дощових вод,
- зменшення ефекту міського теплового острова.

Дослідження в Німеччині показали, що екстенсивні зелені покрівлі знижують температуру покрівельних конструкцій улітку на 20–30 °С [9].

Зелені стіни або вертикальні сади покращують мікроклімат, забезпечують тінь та зменшують нагрівання фасадів. Поглинання CO₂ і пилу є додатковим екологічним ефектом.

Застосування зелених дахів та фасадів дає переваги у:

- зменшенні теплових втрат;
- ізоляції від перегріву;
- зниженні шуму;
- поглинанні CO₂;
- збільшенні довговічності гідроізоляції.

Зелені фасади знижують температуру поверхні на 10–15 °С влітку.

Дерева навколо будинків, а також посадка листяних дерев на південній стороні

будівель зменшує сонячне навантаження влітку та пропускає світло взимку. Це дозволяє зменшити потреби у кондиціонуванні на 20–40 % [10].

Містобудівними аспектами енергозбереження є:

1. Компактність забудови. Енергоефективні міста мають щільнішу забудову, що зменшує потреби в інфраструктурі та транспорті. Моделі «місто коротких відстаней» та *Transit-Oriented Development (TOD)* прямо впливають на споживання енергії в місті.

2. Інсоляція та аерація. Містобудівні регламенти повинні враховувати:

- розу вітрів,
- доступ до сонячного світла,
- відстані між будівлями.

Правильне планування кварталів зменшує затінення та покращує природну вентиляцію.

3. Інфраструктура відновлюваної енергії. До міських енергетичних мереж можуть відноситися:

- сонячні ферми,
- мікрівітроелектростанції,
- станції акумулювання енергії.

Порівняння енергоспоживання будівель різних типів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння енергоспоживання будівель різних типів

Тип будівлі	Середнє річне споживання теплової енергії, кВт·год/м ²	Споживання електроенергії, кВт·год/м ²	Клас енергоефективності
Традиційна будівля (Україна, 1980–2000 рр.)	180–240	45–60	E–F
Сучасна будівля з базовою ізоляцією	90–120	30–40	C–D
Енергоощадна будівля (низькоенергетична)	40–60	20–30	B
Пасивний будинок	≤15	10–15	A+
Зелені будівлі з ВДЕ (комбіновані системи)	0–10 (чистий баланс)	0–10 (часте надви-роб-ництво)	A++

Для енергозбереження в зеленій архітектурі широко застосовуються сучасні матеріали та технології, а саме:

1. Високоєфективні теплоізоляційні матеріали, які включають:

- аерогелі,
- вакуумні ізоляційні панелі,
- біопластики,
- ізоляцію з грибного міцелію.

Вони забезпечують високі теплоізоляційні властивості за мінімальною товщиною.

2. Фасади подвійної оболонки забезпечують:

- контрольований рух повітря,
- зимову акумуляцію тепла,
- літнє пасивне охолодження.

3. Екологічні матеріали. Сучасні стандарти рекомендують використання матеріалів:

- з низькою енергоємністю виробництва,
- таких, що підлягають повторному використанню, біодеградованих.

В системі енергозбереження існують міжнародні стандарти та сертифікація:

1. LEED (США). Система оцінює:

- енергоспоживання,
- використання води,
- якість повітря,
- матеріали,
- транспортну доступність.

2. BREEAM (Велика Британія). Фокусується на життєвому циклі будівлі та екологічній ефективності.

3. «Пасивний будинок» (Німеччина). Основні критерії:

- споживання теплової енергії ≤ 15 кВт·год/м² на рік,
- повна потреба в енергії ≤ 120 кВт·год/м² на рік,
- високий рівень герметичності.

4. Потенціал застосування в Україні. В Україні впроваджуються вимоги ДБН В.2.6-31 щодо енергоефективності, проте потенціал міжнародних стандартів залишається значним і може сприяти зменшенню витрат енергії у житловому фонді.

Приклади реалізованих об'єктів зеленої архітектури:

Bosco Verticale (Мілан). У комплексі – понад 21 тис. рослин, що забезпечують природне охолодження та фільтрацію повітря. Енергоспоживання будівлі на 30 % нижче за середнє в регіоні.

The Edge (Амстердам). Один із найенергоєфективніших офісів світу, сертифікований за BREEAM Outstanding. Використовує сонячні панелі, теплові насоси та «розумні» системи.

Будинки пасивного типу у Німеччині та Австрії. Середньорічне споживання теплової енергії таких будівель у 6–10 разів менше, ніж у традиційних [11].

Що стосується енергозбереження в контексті українських реалій, поточний стан в Україні має значний потенціал підвищення енергоефективності, оскільки будівлі радянського періоду характеризуються високими тепловими втратами. За даними державної статистики, близько 70 % житлового фонду потребує термомодернізації.

Серед основних перспективних напрямів розвитку:

- державні програми енергоефективності,
- підтримка встановлення ВДЕ,
- модернізація житлового фонду,
- популяризація зелених технологій серед населення.

Отримані результати демонструють, що зелена архітектура забезпечує значне скорочення енергоспоживання, але її ефективність залежить від комплексного підходу. Впровадження лише окремих технологій не дозволяє досягти високих показників. Найбільший ефект має інтеграція пасивних методів, утеплення, ВДЕ та автоматизації.

Українська архітектурна практика поступово рухається в бік сталого будівництва, але стикається з кількома проблемами:

- недостатня поінформованість забудовників;
- висока вартість інноваційних матеріалів;
- обмежена кількість вітчизняних фахівців із зеленої архітектури;
- слабка державна підтримка «зелених» стандартів.

Попри це потенціал є значним – кліматичні умови України сприяють розвитку сонячної енергетики, зелених фасадів і систем природної вентиляції.

Висновки

Зелена архітектура є ефективною відповіддю на енергетичні та екологічні виклики XXI століття. Пасивні та активні методи

енергозбереження, інтеграція відновлюваних джерел енергії, застосування зелених насаджень і сучасних матеріалів дозволяють значно зменшити енергоспоживання будівель. Міжнародні стандарти та найкращі практики свідчать про можливість скорочення споживання теплової енергії в десятки разів.

Для України впровадження принципів зеленої архітектури є стратегічно важливим. Це підвищить енергетичну незалежність, знизить витрати на експлуатацію будівель і сприятиме покращенню екологічного стану міст.

Комплексний підхід до проектування, який враховує містобудівні, конструктивні та технологічні аспекти, здатен зробити зелену архітектуру фундаментом сталого розвитку вітчизняного будівельного сектору.

Зелена архітектура є ключовим напрямом розвитку будівельної галузі в умовах глобальних екологічних викликів.

References

1. Alexander, C. (2015). *The Nature of Order*. Berkeley: Center for Environmental Structure. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/j.ctv27ftw6>
2. Bacher, B. (2018). *Sustainable Building Design: Energy Efficiency and the Built Environment*. London: Routledge. Retrieved from <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781315172026/handbook-sustainable-building-design-engineering-dejan-mumovic-mat-santamouris>
3. European Commission. (2020). *Energy Performance of Buildings Report*. Brussels. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
4. Matsuyama, T. (2021). *Green Roofs and Energy Performance: A Comprehensive Review*. *Journal of Sustainable Architecture*. Retrieved from https://www.google.com/search?sca_esv=69f7570c80546219&sxsrf=AE3Tif0y83nAW_azv2iT1WDI0PAF8Jgiew:1763399246417&q=4.+Matsuyama+T.+Green+Roofs+and+Energy+Performance:+A+Comprehensive+Review+.+Journal+of+Sustainable+Architecture,+2021.&sa=X&ved=2ahUKEwic87eN1vmQAxViHxAIHRn_JzsQgwN6BAGKEAE
5. Passivhaus Institut (2020). *Passive House Standards Overview*. Darmstadt, Retrieved from <https://ekolist.cz/cz/publicistika/rozhovory/dan-merta-co-je-to-zelena-architektura>
6. Lisenko, B. (2022). *Energy-efficient materials in modern architecture.* *Architectural Herald*. Retrieved from <https://sites.google.com/site/arhviknuba/%D0%B2%D1%81%D1%96-%D0%B2%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%B8/%D0%B2%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA-24-25-2022>

Енергозбереження – її центральний елемент, який визначається комплексом архітектурних, інженерних та технологічних рішень.

Дослідження показало:

1. Пасивні стратегії забезпечують базовий рівень енергоефективності.
2. Інноваційні теплоізоляційні матеріали значно скорочують тепловтрати.
3. Відновлювані джерела енергії можуть покривати значну частину потреб будівлі.
4. Зелені дахи та фасади мають сильний екологічний та енергозберігаючий ефект.
5. Інтелектуальні системи управління роблять будівлю адаптивною та оптимізованою.

Перспективи зеленої архітектури в Україні пов'язані з удосконаленням нормативної бази, популяризацією енергоефективних рішень та розвитком професійної освіти.

7. Melnik, O. (2021). *Renewable Energy in Ukrainian Construction. Construction and Modern Technologies*. Retrieved from https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/91748/1/Melnyk_Modern_industrial.pdf

8. Sukhenko, V. (2023). *'Green roofs as an element of energy efficiency.'* *Urban Studies*. Retrieved from <http://cus.org.ua/%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96-%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D1%96%D1%97/>

9. Maslennikova V. (2024). *'Green architecture' and innovation: a new format for sustainable design.* *'Avtoshlyakhovik Ukrainy' Kyiv, 4*. Retrieved from https://journal.insat.org.ua/?page_id=7600&lang=uk

10. Maslennikova, V. (2025). *New format of sustainable design of 'green architecture'.* *Scientific problems of architecture and urban planning, Odessa, 3, 70-79.* Retrieved from <https://ptiart.wixsite.com/ogasa/3>

11. Maslennikova, V., & Goptsiy, O. (2025). *Integration of modern energy systems into 'green architecture.'* *Municipal Economy of Cities, Kharkiv, 1 (189), 113-119.* Retrieved from <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-113-119>